



**TUGAS AKHIR - RG 141536**

# **ANALISA PERBANDINGAN PENGOLAHAN DATA STASIUN GPS CORS GUNUNG MERAPI MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ILMIAH DAN KOMERSIL**

**ANDRI ARIE RAHMAD**  
**NRP 3512100039**

**Pembimbing**  
**Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA**  
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2016**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**FINAL ASSIGNMENT - RG 141536**

# **COMPARATIVE ANALYSIS ON DATA PROCESSING OF MOUNT MERAPI GPS CORS STATION BY USING SCIENTIFIC AND COMMERCIAL SOFTWARE**

**ANDRI ARIE RAHMAD**  
**NRP 3512100039**

**Supervisor**  
**Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2016**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**ANALISA PERBANDINGAN PENGOLAHAN DATA  
STASIUN GPS CORS GUNUNG MERAPI  
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ILMIAH DAN  
KOMERSIL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :  
ANDRI ARIE RAHMAD  
NRP. 3512 100 039**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Mokhamad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D. JURUSAN (.....)  
NIP. 19811223 200501 1 002 TEKNIK GEOMATIKA



**SURABAYA, JULI 2016**

**ANALISA PERBANDINGAN PENGOLAHAN DATA  
STASIUN GPS CORS GUNUNG MERAPI  
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ILMIAH DAN  
KOMERSIL**

**Nama Mahasiswa : Andri Arie Rahmad**  
**NRP : 3512 100 039**  
**Jurusan : Teknik Geomatika FTSP - ITS**  
**Dosen Pembimbing : 1. Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D**

**Abstrak**

*Gunung Merapi merupakan salah satu gunung berapi yang paling aktif di Indonesia. Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), letusan gunung berapi umumnya didahului dengan beberapa gejala seperti peningkatan aktivitas seismik, terjadinya deformasi, adanya perubahan temperatur, serta adanya perubahan harga percepatan gaya berat di kawasan gunung berapi. Pemantauan aktivitas gunung berapi dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah metode deformasi. Pemantauan deformasi gunung berapi menggunakan Continously Operating Reference Stations (CORS) merupakan metode yang sangat efektif karena dapat diamati secara kontinyu dan dapat dioperasikan dalam segala cuaca. Selain itu GPS CORS dapat menghasilkan data dengan ketelitian yang sangat tinggi hingga orde mm (milimeter).*

*Untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi, stasiun GPS CORS yang merupakan stasiun referensi GPS yang mengontrol GPS secara kontinyu sangat bergantung pada berbagai macam faktor salah satunya strategi pengolahan data. Untuk memberikan gambaran tingkat akurasi yang dihasilkan dari perangkat lunak pengolah GPS secara post-processing, peneliti menggunakan dua perangkat lunak yaitu perangkat lunak ilmiah (GAMIT/GLOBK 10.6) dan perangkat lunak komersil (Topcon Tools 8.2) yang*

*diolah menggunakan dua metode konfigurasi jaring yaitu metode jaring tertutup dan metode radial.*

*Dari hasil analisa yang dilakukan pada bulan Juli 2015, Pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi dengan GAMIT/GLOBK memberikan tingkat hasil pengolahan data yang lebih presisi daripada pengolahan Topcon Tools. Dari uji statistik antara perangkat lunak pengolah data GPS ilmiah dan komersil didapatkan perbedaan ketelitian yang signifikan dengan rata-rata nilai standar deviasi hasil pengolahan GAMIT/GLOBK 10.6 adalah 3,155 mm sedangkan nilai rata-rata standar deviasi hasil pengolahan Topcon Tools adalah 1,195 cm. Sedangkan metode jaring dan radial tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Selisih rata-rata standar deviasi pada pengolahan GAMIT/GLOBK antara metode jaring dan radial adalah 0,47 mm sedangkan pada pengolahan Topcon Tools selisih rata-rata standar deviasi antara metode jaring dan radial adalah 0,52 mm.*

**Kata Kunci—GAMIT/GLOBK, GPS CORS, Post-Processing, Topcon Tools.**

# **COMPARATIVE ANALYSIS ON DATA PROCESSING OF MOUNT MERAPI GPS CORS STATION BY USING SCIENTIFIC AND COMMERCIAL SOFTWARE**

**Name** : Andri Arie Rahmad  
**NRP** : 3512 100 039  
**Department** : Teknik Geomatika FTSP - ITS  
**Supervisor** : 1. Mokhammad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

## **Abstract**

*Mount Merapi is one of the most active volcanos in Indonesia. According to The Volcanology and Geological Disaster Mitigation Department (PVMBG), volcanic eruption is generally preceded by several symptoms as like making-up of seismic activity, deformation, temperature change, and gravity acceleration change in volcanic area. A monitoring of volcanic activity can be done by various methods, and one of them is deformation method. Deformation of volcano uses Continuously Operating Reference Stations (CORS) as the most effective method, for it is easily to be monitored and it can be operated in all weather conditions. Besides, GPS CORS can show the data in higher detail of mm scale (milimeter).*

*To get higher detail, GPS CORS station that stands as the GPS reference station which controls GPS continuously, depends much on the factors of data-processing strategy. To define the accuracy level of GPS software by post-processing, the researcher used scientific software GAMIT/GLOBK 10.6 and commercial software Topcon Tools 8.2 which were analyzed by using two network configuration methods. They are closed network method and radial network method.*

*Based on conducted result analysis in July 2015, data processing of GPS CORS Mount Merapi using GAMIT/GLOBK*



*showed that the storey level result had more precision in data processing than Topcon Tools processing. According to the statistical test between softwares of processor of scientific and commercial GPS, it was found out that the significant difference on the detail with assessed mean of standard deviation result of processing GAMIT/GLOBK 10.6 was 3,155 mm, while average value of standard deviation result on Topcon Tools processing was 1,195 cm. While closed network and radial methods didn't show any significant differences. The difference of mean standard deviation on processing GAMIT/GLOBK between the use of closed network and radial method was 0,47 mm. While on Topcon Tools processing, the difference of standard deviation mean between closed network and radial method was 0,52 mm.*

**Keywords—GAMIT/GLOBK, GPS CORS, Post-Processing, Topcon Tools.**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Gunung Merapi .....	5
2.2 Deformasi Gunung Api .....	6
2.3 <i>Global Positioning System</i> .....	8
2.4 Metode dan Prinsip Pengukuran GPS .....	10
2.4.1 Metode Penentuan Posisi Absolut .....	11
2.4.2 Metode Penentuan Posisi <i>Differential</i> .....	11
2.4.3 Metode Penentuan Posisi Statik .....	12
2.5 Geometri Jaring GPS .....	13
2.6 Ketelitian Penentuan Posisi dengan GPS .....	13
2.7 Kesalahan dan Bias .....	14
2.8 CORS ( <i>Continuously Operating Reference Stations</i> ) .....	16
2.9 Pemantauan Gunung Api dengan GPS CORS .....	17
2.10 Standar Deviasi .....	19
2.11 Sistem Koordinat .....	20
2.11.1 Sistem Koordinat Geosentrik .....	20
2.11.2 Sistem Koordinat Toposentrik .....	21
2.12 Transformasi Koordinat .....	22
2.13 Perangkat Lunak Pengolahan Data GPS .....	24

2.13.1 Perangkat Lunak Pengolahan GPS Ilmiah: GAMIT/GLOBK 10.6.....	26
2.13.2 Perangkat Lunak Pengolahan GPS Komersil: Topcon Tools .....	28
2.14 Uji Statistik .....	29
2.15 Penelitian Sebelumnya.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	33
3.1 Lokasi Penelitian.....	33
3.2 Data dan Peralatan .....	34
3.3 Tahapan Penelitian.....	36
3.4 Tahapan Pengolahan Data .....	39
3.4.1 Tahapan Pengolahan Data GPS dengan Perangkat Lunak Komersil (Topcon Tools).....	41
3.4.2 Tahapan Pengolahan Data GPS dengan Perangkat Lunak Ilmiah (GAMIT&GLOBK)....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Perbandingan Proses Pengolahan Data GPS dengan Perangkat Lunak Ilmiah dan Komersil .....	51
4.2 Hasil Pengolahan Data GPS dengan Topcon Tools.....	55
4.3 Hasil Pengolahan Data GPS dengan GAMIT & GLOBK.....	56
4.2.1 Hasil Pengolahan Data GPS dengan GAMIT .....	57
4.2.2 Hasil Pengolahan Data GPS dengan GLOBK.....	62
4.4 Analisa <i>Outliers</i> .....	64
4.5 Analisa Perbandingan Standar Deviasi Metode Jaring dan Radial Hasil dari Perangkat Lunak.....	66
4.6 Analisa Perbandingan Standar Deviasi Titik Pengamatan Stasiun GPS CORS Merapi.....	77
4.7 Uji Statistik .....	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	87
5.1 Kesimpulan .....	87
5.2 Saran .....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN .....	93
BIODATA PENULIS.....	115

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gunung Merapi dari Sisi Utara.....	6
Gambar 2.2 Gejala Deformasi pada Gunung Api Aktif .....	7
Gambar 2.3 Segmen GPS .....	9
Gambar 2.4 Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS.....	10
Gambar 2.5 Survei GPS Statik .....	12
Gambar 2.6 Metode Jaring dan Metode Radial .....	13
Gambar 2.7 Spektrum ketelitian Posisi yang Diberikan oleh Survei GPS .....	14
Gambar 2.8 Bias dan <i>Error</i> GPS .....	16
Gambar 2.9 Pemantauan Gunung Api dengan Menggunakan GPS CORS .....	18
Gambar 2.10 Model Probabilitas Berdasarkan Presisi Data Pengamatan .....	19
Gambar 2.11 Sistem Koordinat Geosentrik.....	20
Gambar 2.12 Sistem Koordinat Toposentrik.....	21
Gambar 2.13 Sistem Toposentrik dan Geosentrik.....	21
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian .....	33
Gambar 3.2 Lokasi Stasiun Pemantauan GPS CORS di Gunung Merapi.....	29
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data.....	39
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data GPS CORS dengan Topcon Tools .....	41
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data GPS CORS Dengan GAMIT/GLOBK.....	43
Gambar 4.1 Konfigurasi Jaring Baseline (a) Metode Radial (b) Metode Jaring Tertutup.....	55
Gambar 4.2 Contoh <i>h-files</i> h2015a.15182.....	57
Gambar 4.3 Resolusi fase ambiguitas <i>wide lane</i> sepanjang hari pengamatan.....	60
Gambar 4.4 Resolusi fase ambiguitas <i>narrow lane</i> sepanjang hari pengamatan.....	61
Gambar 4.5 Contoh <i>plotting</i> psbase_2015.KLAT pada	

Pengolahan Metode Jaring.....	64
Gambar 4.6 Contoh <i>plotting time series north</i> stasiun DELS Pengolahan Radial GAMIT yang terdapat data outliers .....	64
Gambar 4.7 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun DELS – north Metode Jaring.....	67
Gambar 4.8 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun DELS – north Metode Radial.....	67
Gambar 4.9 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun DELS – east Metode Jaring.....	68
Gambar 4.10 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun DELS – east Metode Radial.....	68
Gambar 4.11 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun DELS – up Metode Jaring .....	69
Gambar 4.12 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun DELS – up Metode Radial.....	69
Gambar 4.13 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun GRWH– north Metode Jaring .....	70
Gambar 4.14 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun GRWH – north Metode Radial.....	70
Gambar 4.15 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun GRWH– east Metode Jaring.....	71
Gambar 4.16 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun GRWH – east Metode Radial.....	71
Gambar 4.17 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun GRWH– up Metode Jaring .....	72
Gambar 4.18 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun GRWH – up Metode Radial .....	72
Gambar 4.19 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun KLAT– north Metode Jaring.....	73
Gambar 4.20 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun KLAT– north Metode Radial .....	73
Gambar 4.21 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun KLAT– east Metode Jaring.....	74
Gambar 4.22 <i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun	

	KLAT– <i>east</i> Metode Radial .....	74
Gambar 4.23	<i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun KLAT– <i>up</i> Metode Jaring.....	75
Gambar 4.24	<i>Time Series Coordinate Repeatabilities</i> Stasiun KLAT– <i>up</i> Metode Radial.....	75
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Standar Deviasi Titik Pengamatan Stasiun.....	78
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Standar Deviasi Titik Pengamatan Stasiun Tanpa Data <i>Outliers</i> .....	80

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lokasi Data Pengamatan GPS.....	34
Tabel 4.1 Perbandingan Proses Pengolahan Data antara Perangkat Lunak Ilmiah GAMIT dan Perangkat Lunak Komersil Topcon Tools.....	51
Tabel 4.2 Rata-Rata Koordinat Geosentrik Pengolahan Data GPS dengan Topcon Tools 8.2 .....	56
Tabel 4.3 Hasil Pengolahan GAMIT <i>Project</i> Jaring dan Radial doy-198 pada File <i>q&lt;expt&gt;a.182</i> .....	58
Tabel 4.4 Rata-Rata Nilai <i>Postfit nrms</i> Pengolahan GAMIT .....	55
Tabel 4.5 Rata-Rata Nilai <i>Wide Lane</i> dan <i>Narrow Lane</i> Pengolahan GAMIT Metode Radial.....	57
Tabel 4.6 Rata-Rata Koordinat Geosentrik Pengolahan Data GPS dengan GAMIT/GLOBK 10.6 .....	63
Tabel 4.7 Nilai Wrms Hasil Pengolahan GLOBK .....	65
Tabel 4.8 Standar Deviasi Titik Pengamatan Stasiun GPS CORS Merapi.....	77
Tabel 4.9 Standar Deviasi Titik Pengamatan Stasiun GPS CORS Merapi tanpa Data <i>Outliers</i> .....	79
Tabel 4.10 Rata-Rata Standar Deviasi Metode Jaring dan Radial dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ilmiah dan Komersil.....	81
Tabel 4.11 Hasil Hitungan Rata-Rata Standar Deviasi dan Variansi.....	82
Tabel 4.12 Hasil Hitungan Uji Statistik Perbandingan 2 Perangkat Lunak dan 2 Metode.....	83
Tabel 4.13 Hasil Hitungan Uji Statistik Pengolahan Data GAMIT/GLOBK Sebelum dan Sesudah Menghilangkan Data <i>Outliers</i> .....	83



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 Koordinat Toposentrik dari Transformasi Matlab  
Pengolahan Data GPS Perangkat Lunak  
GAMIT/GLOBK 10.6
- Lampiran 2 Koordinat Toposentrik dari Transformasi Matlab  
Pengolahan Data GPS Perangkat Lunak Topcon  
Tools 8.2
- Lampiran 3 Time Series Pengolahan GLOBK (Ps\_Base)
- Lampiran 4 Control Files GAMIT/GLOBK

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini telah berkembang empat buah sistem penentuan posisi berbasis satelit di dunia, yaitu GPS, GLONASS, Beidou, dan Galileo (Kaplan dan Hegarty, 2006). Sistem-sistem satelit tersebut kemudian diintegrasikan dalam satu sistem bernama GNSS (*Global Navigation Satellite System*). CORS (*Continously Operating Reference Stations*) merupakan sistem GNSS yang beroperasi secara kontinyu selama 24 jam sebagai acuan penentuan posisi dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Pada saat ini pengguna teknologi CORS yang ada di Indonesia cukup banyak. Hal ini didukung dengan salah satu manfaat dari GPS CORS yang dapat digunakan dalam survei deformasi. Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Fenomena deformasi diantaranya adalah fenomena alam aktivitas gunung api.

Salah satu pemantauan gunung api menggunakan GPS CORS terletak pada jaringan stasiun GPS CORS Gunung Merapi. Gunung api yang memiliki ketinggian 2,968 m dpl (per 2006) ini merupakan salah satu gunung api di Pulau Jawa yang masih aktif sampai saat ini (BPPTKG, 2014). Dengan adanya pemantauan deformasi menggunakan GPS CORS dapat diperoleh informasi mengenai pergeseran suatu titik tanah sehingga dapat diketahui gejala-gejala vulkanik Gunung Merapi. Informasi yang didapatkan menjadi langkah awal dalam upaya mitigasi bencana Gunung Merapi.

Pemantauan deformasi dengan GPS tidak pernah lepas dari perubahan koordinat beberapa titik yang mewakili sebuah gunung api dari waktu ke waktu. Untuk itu diperlukan data dengan ketelitian yang tinggi (Abidin, 2007).

Salah satu faktor yang mempengaruhi ketelitian survei GPS ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah

pengolahan data. Pengolahan data GPS dimaksudkan untuk menghitung koordinat titik-titik dalam suatu jaring berdasarkan data-data pengamatan fase sinyal GPS yang diamati pada titik-titik pengamat (Hofmann-Wellenhof et al., 2000). Pengolahan data dilakukan dalam dua tahap, yaitu: pengolahan baseline yang bertujuan untuk menghasilkan komponen vektor baseline ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) dan perataan jaring untuk mendapatkan koordinat dan ketelitian titik menggunakan komponen dari vektor baseline tersebut (Wolf dan Ghilani, 2006).

Pengolahan data GPS pada prinsipnya ada dua jenis perangkat lunak (*software*) yang dapat digunakan, yaitu perangkat lunak komersil serta perangkat lunak ilmiah. Perangkat lunak komersil dikeluarkan oleh perusahaan-perusahaan *receiver* GPS sedangkan perangkat lunak ilmiah dikeluarkan oleh lembaga-lembaga penelitian atau universitas. Perbedaan yang signifikan dari kedua jenis perangkat lunak ini terletak pada mekanisme penanganan terhadap efek dari kesalahan dan bias. Perangkat lunak ilmiah umumnya digunakan untuk mengolah data survei geodesi yang menuntut ketelitian relatif lebih tinggi (sampai orde milimeter), dan memiliki cakupan jaringan yang umumnya berskala regional atau bahkan global (Abidin, 2011).

Perangkat lunak pengolahan data GPS baik ilmiah ataupun komersil masing-masing memiliki standar hasil pengolahan yang tidak sama. Dengan dilakukan pengolahan data GPS Gunung Merapi menggunakan kedua perangkat lunak tersebut diharapkan dapat memberikan tingkat ketelitian sebagai acuan dalam mengaplikasikan data GPS yang menuntut ketelitian yang tinggi. Sehingga dapat memberikan selisih akurasi ketelitian titik pengamatan stasiun GPS CORS Gunung Merapi yang dihasilkan antara perangkat lunak ilmiah serta perangkat lunak komersil.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang muncul dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar selisih standar deviasi titik pengamatan stasiun GPS CORS Gunung Merapi menggunakan perangkat lunak ilmiah dan komersil?
2. Berapa besar perbedaan ketelitian yang dihasilkan dari pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi menggunakan perangkat lunak ilmiah dan komersil?
3. Berapa besar selisih ketelitian yang dihasilkan dari pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi dengan konfigurasi jaring tertutup dan radial?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Pengolahan data secara *post processing* dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah dan perangkat lunak komersil.
2. Perangkat lunak pembanding pengolahan data GPS yang digunakan adalah perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK 10.6 dan perangkat lunak komersil Topcon Tools 8.2.
3. Data pengamatan GPS CORS yang digunakan berjumlah 4 titik diantaranya adalah GPS CORS DELS, GRWH, KLAT, dan BPTK.
4. Data titik ikat yang digunakan adalah data GPS BPTK yang berada di kantor Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG).
5. Data pengamatan GPS yang digunakan adalah data RINEX GPS geodetik pada bulan Juli tahun 2015.
6. Metode konfigurasi jaring pengolahan yang digunakan adalah metode jaring tertutup dan radial.

#### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengolahan data yang memberikan tingkat hasil pengolahan data paling presisi serta besar selisih standar deviasi titik pengamatan stasiun GPS CORS Gunung Merapi menggunakan perangkat lunak ilmiah dan komersil.
2. Mengetahui besar perbedaan ketelitian yang dihasilkan dari pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi menggunakan perangkat lunak ilmiah dan komersil.
3. Mengetahui besar selisih ketelitian yang dihasilkan dari pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi dengan konfigurasi jaring tertutup dan radial.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah memberikan tingkat ketelitian yang dihasilkan oleh perangkat lunak pengolahan GPS baik ilmiah maupun komersil sebagai acuan dalam mengaplikasikan data GPS yang menuntut ketelitian yang tinggi (sampai orde milimeter), seperti untuk pengadaan titik-titik kontrol pemantauan Gunung Merapi, pemantauan deformasi, dan studi geodinamika.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gunung Merapi**

Di Indonesia terdapat 13 sampai 17 persen dari jumlah gunung api aktif di seluruh dunia. Di antara gunung api tersebut, ada 70 gunung api yang dianggap perlu diawasi, salah satunya Gunung Merapi. Gunung Merapi yang terletak 25 kilometer di utara kota Yogyakarta merupakan gunung api teraktif di dunia (Voight dalam Wahyunto dan Wasito, 2013). Gunung Merapi terletak di perbatasan antara Provinsi Jawa Tengah dengan Daerah Istimewa Yogyakarta dengan posisi geografis pada 70°32'5" LS dan 110°26'5" BT.

Gunung Merapi merupakan gunung berapi dengan tipe strato, dengan ketinggian 2.968 meter dari permukaan laut. Gunung berapi bertipe strato (*stratovolcano*) ialah pegunungan (gunung berapi) yang tinggi dan mengerucut yang terdiri atas lava dan abu vulkanik yang mengeras. Gunung Merapi karakter curam dengan kemiringan  $\pm 30^\circ$ , berbentuk konus (mengerucut) dengan kubahnya terbentuk dari semburan dan aliran/lelehan lava pijar. Kubah lava ini akan mengalami guguran secara periodik (erupsi) yang menghasilkan bentukan awan panas khas, yang populer dengan sebutan wedhus gembel.

Sepanjang sejarahnya sampai tahun 2010, Gunung Merapi tercatat telah meletus sampai 84 kali. Letusan tersebut terjadi dengan periode 2-5 tahun (periode pendek) serta 5-7 tahun (periode panjang) (BPPTKG, 2010). Merapi juga pernah mengalami periode istirahat terpanjang selama lebih dari 30 tahun, terutama pada awal keberadaannya sebagai gunung api. Memasuki abad ke-16 saat pencatatan kegiatan Merapi sudah cukup baik, tercatat bahwa waktu istirahat terpanjang yang pernah dicapai Merapi adalah 71 tahun antara tahun 1587 sampai dengan tahun 1658.



Pada setiap kali letusan dari kepundan dikeluarkan jutaan meter kubik material panas berupa lava yang terdiri dari batu, kerikil, pasir dan abu. Pada waktu dikeluarkan material tersebut mempunyai suhu yang sangat tinggi (sekitar  $900^{\circ}\text{C}$ ) meluncur ke bawah dengan kecepatan tinggi (BPTTKG, 2010). Jarak terjauh yang pernah ditempuh awan panas tercatat 13 km (tahun 1972) dan 14 km (tahun 2010) dari puncak, dan mempunyai kecepatan sekitar 60 km per jam. Awan panas ini membinasakan segala sesuatu yang dilewatinya.



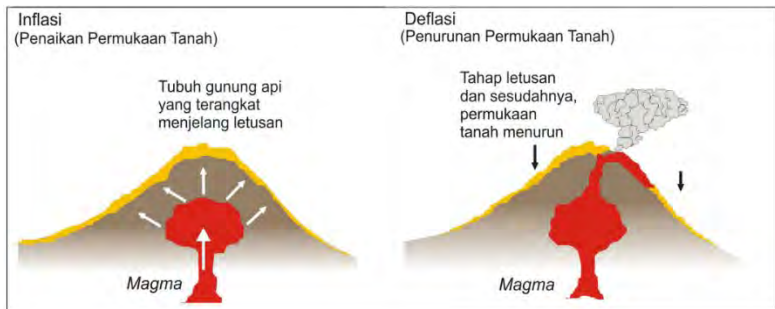
Gambar 2.1 Gunung Merapi dari sisi utara  
(merapi.bgl.esdm.go.id)

## **2.2 Deformasi Gunung Api**

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Fenomena deformasi diantaranya adalah fenomena alam aktivitas gunung Merapi. Deformasi pada gunung api adalah proses perubahan posisi, ukuran, dan dimensi dari badan atau permukaan gunung api yang disebabkan oleh aktivitas tektonik ataupun aktivitas vulkanik dari dalam gunung. Naiknya magma yang berinteraksi dengan batuan di sekitarnya menyebabkan munculnya jalur baru, mengalir melalui retakan atau saluran

dan terakumulasi dalam reservoir bawah tanah. Perubahan tekanan dalam saluran akan merusak batuan di sekitarnya.

Pada prinsipnya deformasi dari tubuh gunung api dapat berupa penaikan permukaan tanah (inflasi) ataupun penurunan permukaan tanah (deflasi). Deformasi yang berupa inflasi umumnya terjadi karena proses gerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya. Dalam hal ini deformasi yang maksimal biasanya teramati tidak lama sebelum letusan gunung api berlangsung. Sedangkan deformasi berupa deflasi umumnya terjadi selama atau sesudah masa letusan. Pada saat itu tekanan magma di dalam tubuh gunung api telah melemah dan permukaan tanah cenderung kembali ke posisinya semula. Gejala deformasi gunung api akan menyebabkan pergeseran posisi suatu titik di tubuh gunung api. Pergeseran posisi tersebut dapat terjadi baik dalam arah horizontal maupun vertikal.



Gambar 2.2 Gejala deformasi pada gunung api aktif  
(Abidin, 2007)

Pemantauan deformasi suatu gunung api dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam sensor atau sistem. Metode deformasi ini pada dasarnya ingin mendapatkan pola dan kecepatan dari gerakan tubuh gunung api, baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Pemantauan deformasi gunung api dengan metode deformasi umumnya dapat

diklasifikasikan atas dua tipe, yaitu metode episodik dan metode kontinyu.

Pada metode episodik, pemantauan dilakukan secara berkala dalam selang waktu tertentu. Metode deformasi episodik ini umumnya menggunakan data-data pengamatan terestris, seperti jarak (dari EDM, *Electronic Distance Measurement*), arah (dari theodolit), beda tinggi (dari sipat datar), dan perubahan gaya berat (dari pengukuran mikrogravitas); dan sekarang ini juga mulai menggunakan data pengamatan GPS dan juga INSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*).

Pada metode deformasi kontinyu pemantauan dilakukan terus menerus secara otomatis. Metode deformasi kontinyu ini umumnya menggunakan sensor-sensor tiltmeter, extensiometer, dan dilatometer, yang hanya mengkarakteristik deformasi yang sifatnya relatif lokal. GPS yang dikombinasikan dengan sistem telemetri/komunikasi data juga mulai banyak digunakan untuk memantau deformasi gunung api secara kontinyu. Untuk gunung-gunung api yang lebih aktif, sehubungan dengan adanya tuntutan ketersediaan informasi deformasi dalam waktu yang relatif cepat, maka pemantauan secara kontinyu dengan GPS akan lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan metode survei GPS (Abidin, et al., 2007).

## **2.3 Global Positioning System**

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan (El-Rabbany, 2002). Pada dasarnya GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu:

- a. Segmen Angkasa (*space segment*)

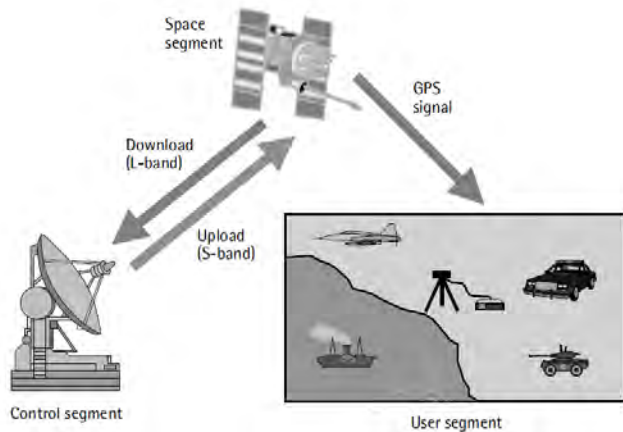
Terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam enam orbit dengan inklinasi  $55^\circ$  dan ketinggian 20.200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.

b. Segmen Sistem Kontrol (*control system segment*)

Segmen sistem kontrol GPS berfungsi mengontrol dan memantau operasional semua satelit GPS dan memastikan bahwa semua satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Salah satu tugas dari sistem kontrol antara lain adalah prediksi orbit, monitoring kondisi satelit, dan sinkronisasi waktu.

c. Segmen Pengguna (*user segment*)

Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GPS, baik di darat, laut, udara, maupun di angkasa. Dalam hal ini, alat penerima sinyal dari satelit GPS (*GPS receiver*) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal dari satelit GPS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan, waktu maupun parameter-parameter lainnya.

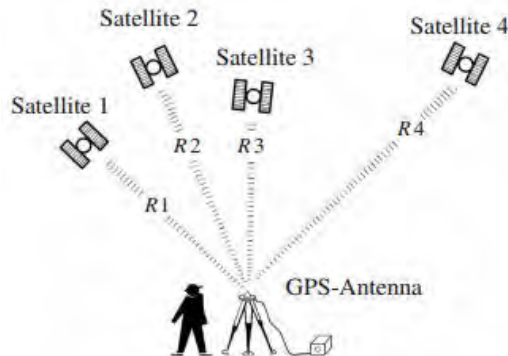


Gambar 2.3 Segmen GPS  
(El-Rabbany, 2002)

## 2.4 Metode dan Prinsip Pengukuran GPS

Konsep dasar pada penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui (Sebber, 2003). Pada pelaksanaan pengukuran penentuan posisi dengan GPS, pada dasarnya ada dua jenis/tipe alat penerima sinyal satelit (*receiver*) GPS yang dapat digunakan, yaitu :

- Tipe navigasi digunakan untuk penentuan posisi yang tidak menuntut ketelitian tinggi.
- Tipe geodetik digunakan untuk penentuan posisi yang menuntut ketelitian tinggi.



Gambar 2.4 Prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS  
(Seeber, 2003)

Posisi yang diberikan oleh *GPS* adalah posisi 3 dimensi ( $x, y, z$  atau  $\phi, \lambda, h$ ) yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984, sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid.

Pada pengukuran GPS masing-masing memiliki empat parameter yang harus ditentukan yaitu 3 parameter koordinat  $x, y, z$  atau  $L, B, h$  dan satu parameter kesalahan waktu akibat ketidak-sinkronan jam osilator di satelit dengan jam di

*receiver* GPS. Oleh karena itu, diperlukan minimal pengukuran jarak ke empat satelit (Hofmann-Wellenhof, et al., 2002).

Metode penentuan posisi dengan GPS pertama-tama dibagi dua, yaitu metode absolut, dan metode diferensial. Masing-masing metode dapat dilakukan dengan cara *real time* atau *post-processing*. Apabila obyek yang ditentukan posisinya diam, maka metodenya disebut statik. Sebaliknya, apabila obyek yang ditentukan posisinya bergerak, maka metodenya disebut kinematik. Selanjutnya, metode yang lebih detail antara lain metode-metode seperti SPP, DGPS, RTK, *rapid* statik, *pseudo* kinematik, *stop and go* serta beberapa metode lainnya.

#### 2.4.1 Metode Penentuan Posisi Absolut

Penentuan posisi secara absolut atau juga dikenal sebagai *point positioning* adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari GPS dimana penentuan posisi dapat dilakukan per titik tanpa bergantung pada titik lainnya. Untuk penentuan posisi hanya memerlukan satu *receiver* GPS. Titik yang ditentukan posisinya bisa dalam keadaan diam (mode statik) ataupun dalam keadaan bergerak (mode kinematik). Aplikasi utama dari metode ini adalah untuk keperluan navigasi atau aplikasi-aplikasi lain yang memerlukan informasi posisi yang tidak terlalu teliti tapi tersedia secara *real time*, seperti untuk keperluan *reconnaissance* dan *ground truthing*.

#### 2.4.2 Metode Penentuan Posisi *Differential*

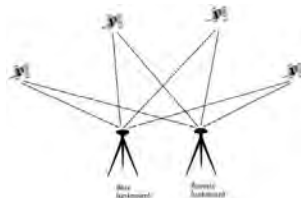
Metode relatif atau sering disebut *differential positioning*, menentukan posisi dengan menggunakan lebih dari sebuah *receiver*. Satu GPS dipasang pada lokasi tertentu di muka bumi dan secara terus menerus menerima sinyal dari satelit dalam jangka waktu tertentu dijadikan sebagai referensi bagi yang lainnya.

Prinsipnya adalah dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan sehingga beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieleminasi atau direduksi. Pengeleminasian dan pereduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data yang selanjutnya berimplikasi pada posisi yang diperoleh.

Metode ini menghasilkan posisi berketelitian tinggi (umumnya kurang dari 1 meter) dan diaplikasikan untuk keperluan survei geodesi ataupun pemetaan yang memerlukan ketelitian tinggi.

#### 2.4.3 Metode Penentuan Posisi Statik

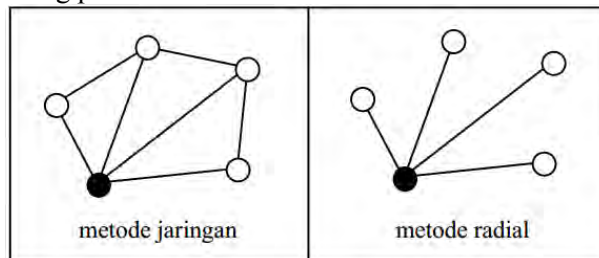
Penentuan posisi secara statik (*static positioning*) adalah penentuan posisi dari titik–titik yang statik (diam). Penentuan posisi tersebut dapat dilakukan secara absolut maupun diferensial, dengan menggunakan data pseudorange dan/atau fase. Dibandingkan dengan metode penentuan posisi kinematik, ukuran lebih pada suatu titik pengamatan yang diperoleh dengan metode statik biasanya lebih banyak. Hal ini menyebabkan keandalan dan ketelitian posisi yang diperoleh umumnya relatif lebih tinggi (dapat mencapai orde mm sampai cm). Salah satu bentuk implementasi dari metode penentuan posisi statik yang populer adalah survei GPS untuk penentuan koordinat dari titik-titik kontrol untuk keperluan pemetaan ataupun pemantauan fenomena deformasi dan geodinamika.



Gambar 2.5 Survei GPS statik  
(El-Rabbany, 2002)

## 2.5 Geometri Jaring GPS

Pada survei GPS dikenal dua metode geometri jaringan, yakni metode jaring radial dan metode jaring tertutup. Metode jaring radial dilakukan dengan menempatkan satu *receiver* pada titik tetap dan mengukur baseline-baseline dari titik tetap tersebut ke *receiver* lain di titik rencana. Sedangkan karakteristik dari jaring GPS adalah perlu ada titik ikat sebagai referensi atau mengintegrasikan koordinat hasil ukuran terhadap sistem koordinat titik-titik ikat. Titik-titik ikat tersebut dapat berfungsi sebagai titik kontrol. Titik pada jaring dihubungkan oleh baseline-baseline yang dirancang sesuai desain jaringnya. Metode jaring tertutup digunakan sebagai *input* data untuk hitungan jaring adalah komponen vektor baseline ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ). Solusi koordinat dari metode jaring tertutup tidak konsisten sebab ada ukuran lebih, sehingga perlu hitung perataan.



Gambar 2.6 Metode jaringan dan metode radial  
(Abidin, 2011)

## 2.6 Ketelitian Penentuan Posisi dengan GPS

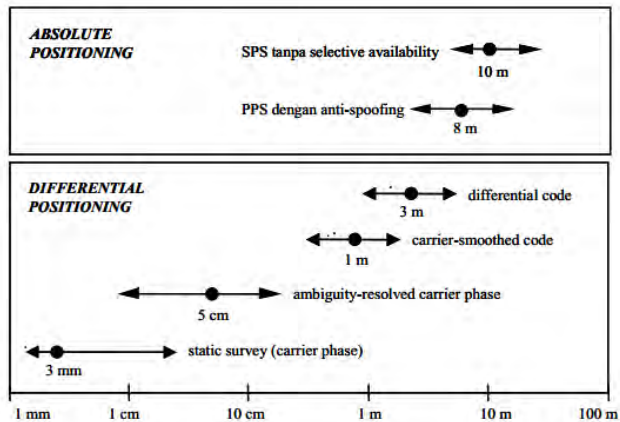
Ketelitian posisi yang diperoleh dari hasil pengamatan GPS secara umum bergantung pada 4 faktor (Abidin, 2011), yaitu:

- Ketelitian data, tergantung pada tipe data yang digunakan, kualitas *receiver* GPS dan level dari kesalahan dan bias.
- Geometri satelit, tergantung pada lokasi, jumlah dan distribusi satelit dan lama pengamatan.



- c. Metode penentuan posisi, apakah menggunakan *absolute* atau *differential positioning*, *static*, *rapid static*, *pseudo-kinematic*, *stop and go* atau *kinematic* dan *one & multi monitor station*
- d. Strategi pemrosesan data, apakah menggunakan *real-time* dan *post processing*, strategi dalam eliminasi dan pengkoreksian kesalahan dan biasanya, metode estimasi yang digunakan pemrosesan baseline dan perataan jaring serta kontrol kualitas.

Faktor-faktor tersebut sangat tergantung bagaimana memperhitungkan dan memperlakukan faktor-faktor tersebut, maka dapat diperoleh tingkat ketelitian yang berbeda-beda. Dalam hal ini adalah wajar jika GPS secara umum serta survei GPS secara khusus dapat memberikan ketelitian posisi titik yang cukup bervariasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



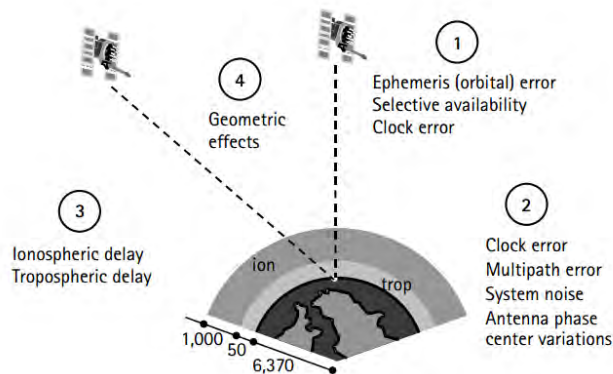
Gambar 2.7 Spektrum ketelitian posisi yang diberikan oleh survei GPS (Abidin, 2011)

## 2.7 Kesalahan dan Bias

Kesalahan dan bias GPS pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi (El-Rabbany, 2002):

- a. Kesalahan *ephemeris* (orbit), yaitu kesalahan dimana orbit satelit yang dilaporkan oleh ephemeris satelit tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya.
- b. *Selective availability*, adalah metode yang pernah diaplikasikan untuk memproteksi ketelitian posisi absolut secara *real-time*.
- c. Kesalahan jam *receiver* dan jam satelit. Setiap satelit GPS selalu dilengkapi oleh beberapa jam atom yang digunakan untuk mendefinisikan sistem waktu. Jam-jam tersebut akan mengalami penyimpangan. Pada umumnya *receiver* GPS dilengkapi dengan jam kristal quartz yang relatif lebih kecil, lebih murah, dan relatif membutuhkan daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan jam atom yang dibawa oleh satelit. Ketidak-sinkronan antara jam satelit GPS dan jam *receiver* GPS inilah yang akan memberikan informasi waktu yang berbeda dan dapat menjadi sumber kesalahan.
- d. *Multipath*, yaitu fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di antena GPS melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda. Hal ini disebabkan karena sinyal dipantulkan oleh benda-benda di sekitar antena sebelum tiba di antena.
- e. Pergerakan dari pusat fase antena, pusat fase antena adalah pusat radiasi yang sebenarnya, dan dalam konteks GPS merupakan titik referensi yang sebenarnya digunakan dalam pengukuran sinyal secara elektronis. Karena sumber radiasi yang ideal tersebut sulit direalisasikan pada antena GPS, maka pusat fase antena GPS umumnya akan berubah-ubah tergantung pada elevasi dan azimuth satelit serta intensitas sinyal dan lokasinya akan berbeda untuk sinyal L1 dan L2.
- f. Bias ionosfer, jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan ionosfer tergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas gas pada lapisan tersebut. Bias ionosfer akan mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan sinyal GPS. Ionosfer akan memperlambat

- pseudorange* (ukuran jarak menjadi lebih panjang) dan mempercepat fase (ukuran jarak menjadi lebih pendek).
- g. Bias troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal GPS. Efek utama dari troposfer sangat berpengaruh pada kecepatan, atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak. Pada lapisan ini *pseudorange* dan fase diperlambat dan besar magnitude bias troposfer pada kedua data pengamatan tersebut adalah sama.
  - h. *Cycle slips*, adalah ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati, karena *receiver* yang disebabkan oleh satu dan lain hal ‘terputus’.



Gambar 2.8 Bias dan error GPS  
(El-Rabbany, 2002)

## 2.8 CORS (Continuously Operating Reference Stations)

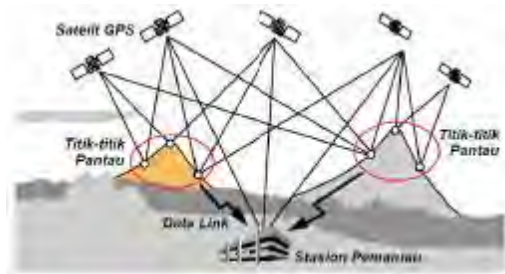
CORS (*Continuously Operating Reference Stations*) adalah suatu teknologi berbasis GNSS (*Global Navigation Satellite System*) yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan kontinu selama 24 jam per hari, 7 hari per minggu dengan mengumpulkan, merekam,

mengirim data, dan memungkinkan para pengguna (*users*) memanfaatkan data dalam penentuan posisi, baik *secara post processing* maupun *secara real time*. *Receiver* biasanya dikontrol dengan komputer dan ditempatkan di tempat yang jauh jika diperlukan. *Personal computer* (PC) biasanya akan mengunduh file data secara berkala dan meneruskannya ke server FTP untuk akses pengguna komunitas GPS (NOAA, 2013).

## **2.9 Pemantauan Gunung Api dengan GPS CORS**

Prinsip dari metode pemantauan aktivitas gunung api dengan GPS CORS pada dasarnya sangat mudah, yaitu pemantauan terhadap perubahan koordinat dari beberapa titik yang mewakili gunung tersebut dari waktu ke waktu. Pada metode ini, beberapa *receiver* GPS ditempatkan di beberapa titik pantau yang ditempatkan pada punggung dan puncak gunung yang akan dipantau, serta pada suatu pusat pemantau (stasiun referensi) yang merupakan pusat pemrosesan data. Pusat pemantau adalah suatu lokasi yang telah diketahui koordinatnya dan sebaiknya ditempatkan di kota yang terdekat dengan gunung api tersebut (Abidin, 2007).

Koordinat titik-titik pantau kemudian ditentukan secara teliti dengan GPS yang relatif terhadap pusat pemantau, dengan menggunakan metode penentuan posisi differensial secara *real time* dengan menggunakan data pengamatan fase. Data pengamatan GPS dari titik-titik pantau harus dikirimkan secara *real time* ke pusat pemantau untuk di proses bersama-sama dengan data pengamatan GPS di pusat pemantau. Berikut ini adalah ilustrasi pemantauan deformasi gunung api dengan menggunakan GPS CORS.



Gambar 2.9 Pemantauan gunung api dengan menggunakan GPS secara kontinyu  
(Abidin, 2007)

Dalam konteks studi pemantauan deformasi gunung api dengan metode survei GPS, ada beberapa keunggulan dan keuntungan dari GPS, yaitu antara lain:

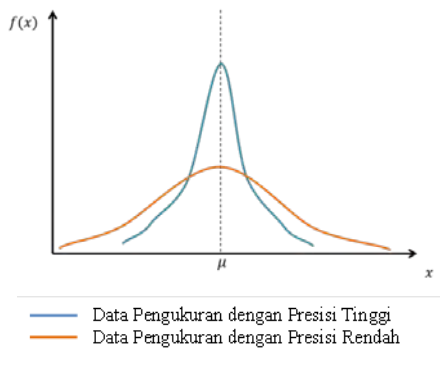
1. GPS dapat mencakup suatu kawasan yang relatif luas tanpa memerlukan saling keterlihatan antar titik-titik pengamatan. Dengan karakteristik seperti ini, GPS dapat memantau sekaligus beberapa gunung api yang berdekatan.
2. GPS memberikan nilai vektor koordinat serta pergerakan titik (dari minimum dua kala pengamatan) dalam tiga dimensi (dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal), sehingga dapat informasi deformasi yang lebih baik dibandingkan metode-metode terestris yang umumnya memberikan informasi deformasi dalam satu atau dua dimensi.
3. GPS memberikan nilai vektor pergerakan titik dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal dan stabil baik secara spasial maupun temporal. Dengan itu maka GPS dapat digunakan untuk memantau deformasi gunung atau gunung-gunung api dalam kawasan yang luas secara konsisten dari waktu ke waktu.
4. GPS dapat memberikan nilai vektor pergerakan dengan tingkat presisi sampai beberapa mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan

tingkat presisi yang tinggi dan konsisten ini maka diharapkan besarnya pergerakan titik yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi dengan baik.

5. GPS dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu (siang maupun malam), dalam segala kondisi cuaca. Dengan karakteristik semacam ini maka pelaksanaan survei GPS untuk studi deformasi gunung api dapat dilaksanakan secara efektif dan fleksibel.

## 2.10 Standar Deviasi

Menurut Mikhail dan Gracie (1981), standar deviasi adalah sebuah ukuran dari presisi, sedangkan presisi adalah derajat kedekatan antar data pengukuran-pengukuran yang berulang.



Gambar 2.10 Model probabilitas berdasarkan presisi data pengamatan  
(Mikhail dan Gracie, 1981)

Menurut Ghilani dan Wolf (2006), secara umum standar deviasi dibagi menjadi dua yaitu standar deviasi populasi atau biasa disebut standar *error* ( $\sigma$ ) dan standar deviasi sampel ( $S$ ), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}} \quad (2.1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_i = y_i - \mu \quad (2.3)$$

$$v_i = \bar{y} - y_i \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\mu$  = rata-rata populasi

$y_i$  = data ke-i

$\bar{y}$  = rata-rata sampel

$\varepsilon_i$  = kesalahan ke-i (perbedaan antara nilai pengukuran ke-i dengan rata-rata populasi)

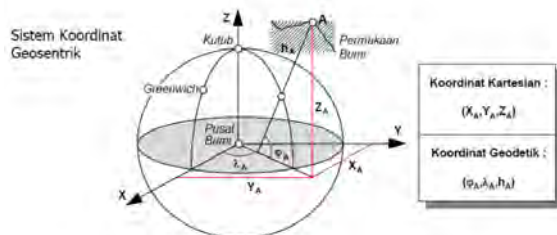
$v_i$  = residu ke-i (perbedaan antara nilai pengukuran ke-i dengan rata-rata sampel)

$n$  = jumlah data pengukuran

## 2.11 Sistem Koordinat

### 2.11.1. Sistem Koordinat Geosentrik

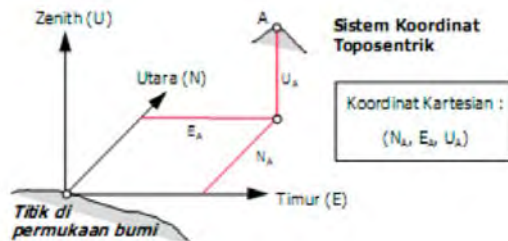
Sistem koordinat geosentrik adalah penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi, dimana titik nol-nya berada di titik pusat massa bumi. sistem koordinat geosentrik biasanya digunakan sistem koordinat untuk menentukan posisi titik-titik di permukaan bumi dengan menggunakan satelit GPS. Gambar 2.11 menunjukkan Sistem koordinat geosentrik. (Anjasmara & Hapsari, 2014).



Gambar 2.11 Sistem koordinat geosentrik  
(Anjasmara & Hapsari, 2014)

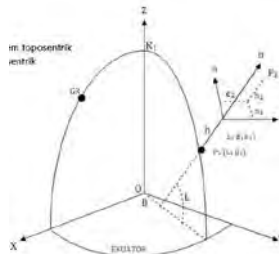
### 2.11.2. Sistem Koordinat Toposentrik

Sistem koordinat toposentrik definisikan sebagai penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi dimana titik nol-nya berlokasi di satu titik di permukaan bumi. Sistem koordinat toposentrik biasanya digunakan untuk menentukan posisi terestris. (Anjasmara & Hapsari, 2014).



Gambar 2.12 Sistem koordinat toposentrik  
(Anjasmara & Hapsari, 2014)

Perhatikan gambar 2.17. (XYZ) merupakan sistem koordinat geosentrik (siku-siku ruang). Titik (O) berhimpit dengan ellipsoida referensi. Sumbu (XY) terletak pada bidang ekuator geodetic. Sumbu X merupakan perpotongan bidang meridian Greenwich (GR) dengan bidang ekuator. Sumbu Y tegak lurus sumbu X ke arah timur. Sumbu Z berimpit dengan sumbu pendek dan sejajar sumbu rotasi bumi.



Gambar 2.13 Sistem toposentrik dan geosentrik  
(Anjasmara & Hapsari, 2014)



(e,n,h) merupakan sistem koordinat toposentrik di titik  $P_1$  sebagai titik nol ( $L_1 B_1 h_1$ ). Sumbu  $h^+$  berimpit dengan garis normal ellipsoid melalui  $P_1$  ke arah luar. Sumbu  $n^+$  sejajar garis singgung pada meridian  $P_1$  ke arah utara. Sumbu  $e^+$  sejajar garis singgung pada irisan normal utama di  $P_1$  ke arah timur.

## 2.12 Transformasi Koordinat

Sistem koordinat geosentrik identik dengan koordinat kartesian ( $X,Y,Z$ ) yang disimbolkan dengan vektor  $\underline{X}$ . Vektor  $\underline{X}_i$  dan  $\underline{X}_j$  mewakili titik di permukaan bumi  $P_i$  dan  $P_j$ . Jika vektor  $\underline{X}_i$  merupakan titik koordinat titik ikat dan vektor  $\underline{X}_j$  merupakan titik koordinat di suatu permukaan bumi maka vektor antara dua titik dalam sistem koordinat geosentrik didefinisikan dengan (Hofmann-Wellenhof, et al., 2000):

$$\underline{X}_{ij} = \underline{X}_j - \underline{X}_i = \begin{bmatrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \\ Z_j - Z_i \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Vektor ini juga dapat didefinisikan dalam sistem lokal yang direferensikan ke bidang singgung di titik  $P_i$  dan disimbolkan dengan vektor  $\underline{x}_{ij}$ .

Sumbu  $\underline{n}_i, \underline{e}_i, \underline{u}_i$  (bidang singgung) sistem koordinat lokal di titik  $P_i$ , sesuai dengan arah utara, timur, dan atas yang terwakili dalam sistem geosentrik (global) dengan persamaan:

$$\underline{n}_i = \begin{bmatrix} -\sin\varphi_i \cos\lambda_i \\ -\sin\varphi_i \sin\lambda_i \\ \cos\varphi_i \end{bmatrix} \quad \underline{e}_i = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_i \\ \cos\lambda_i \\ 0 \end{bmatrix} \quad \underline{u}_i = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i \cos\lambda_i \\ \cos\varphi_i \sin\lambda_i \\ \sin\varphi_i \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

dimana vektor  $\underline{n}_i, \underline{e}_i$  menjangkau bidang singgung di  $P_i$ . Sumbu ketiga dari sistem koordinat lokal, yaitu vektor  $\underline{u}_i$ , ortogonal terhadap bidang singgung dan bertepatan dengan normal ellipsoid.

Sistem koordinat lokal mengacu pada garis tegak lurus di titik  $P_i$  jika ellipsoid koordinat di  $\varphi_i, \lambda_i$  digantikan oleh astronomi lintang dan bujur.

Komponen  $n_{ij}, e_{ij}, u_{ij}$  dari vektor  $\underline{x}_{ij}$  dalam sistem koordinat lokal didefinisikan. Koordinat ini disebut sebagai koordinat ENU (*east, north, up*). Komponen-komponen ini diperoleh dengan proyeksi vektor  $\underline{X}_{ij}$  ke sumbu koordinat lokal  $\underline{n}, \underline{e}, \underline{u}$ . Sehingga

$$\underline{x}_{ij} = \begin{bmatrix} n_{ij} \\ e_{ij} \\ u_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{n}_j - \underline{n}_i \\ \underline{e}_j - \underline{e}_i \\ \underline{u}_j - \underline{u}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{n}_i \cdot \underline{X}_{ij} \\ \underline{e}_i \cdot \underline{X}_{ij} \\ \underline{u}_i \cdot \underline{X}_{ij} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Susunan vektor  $\underline{n}_i, \underline{e}_i, \underline{u}_i$  dalam sistem koordinat lokal biasa disebut sebagai matriks rotasi sebagai kolom dalam matriks D, yaitu:

$$\underline{D}_i = \begin{pmatrix} -\sin\varphi_i \cos\lambda_i & -\sin\lambda_i & \cos\varphi_i \cos\lambda_i \\ -\sin\varphi_i \sin\lambda_i & \cos\lambda_i & \cos\varphi_i \sin\lambda_i \\ \cos\varphi_i & 0 & \sin\varphi_i \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

hubungan dengan persamaan (2.7) dapat disederhanakan menjadi

$$\underline{x}_{ij} = \underline{D}_i^T \underline{X}_{ij} \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} n_j \\ e_j \\ u_j \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\varphi_i \cos\lambda_i & -\sin\varphi_i \sin\lambda_i & \cos\varphi_i \\ -\sin\lambda_i & \cos\lambda_i & 0 \\ \cos\varphi_i \cos\lambda_i & \cos\varphi_i \sin\lambda_i & \sin\varphi_i \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \\ Z_j - Z_i \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 merupakan penjabaran dari persamaan 2.9 yaitu persamaan transformasi koordinat geosentrik ke koordinat toposentrik. Dimana  $(\underline{n}_j, \underline{e}_j, \underline{u}_j)$  adalah koordinat toposentrik yang akan ditransformasikan. Kemudian  $(\varphi_i, \lambda_i)$  adalah koordinat geodetik bujur dan lintang titik ikat,  $(X_i, Y_i, Z_i)$  adalah koordinat geosentrik titik ikat lalu  $(X_j, Y_j, Z_j)$  adalah koordinat geosentrik titik yang akan dicari.

### **2.13 Perangkat Lunak Pengolahan Data GPS**

Untuk pengolahan data survei GPS, pada prinsipnya ada dua jenis perangkat lunak (*software*) yang dapat digunakan, yaitu perangkat lunak komersil yang dikeluarkan oleh perusahaan-perusahaan *receiver* GPS, seperti SKI, GPPS, dan GPSurvey, serta perangkat lunak ilmiah yang dikeluarkan oleh lembaga-lembaga penelitian atau universitas, seperti Bernesse, GAMIT, Gipsy, dan DIPOP. Perbedaan yang signifikan dari kedua jenis perangkat lunak ini terletak pada mekanisme penanganan terhadap efek dari kesalahan dan bias. Perangkat lunak komersil umumnya menggantungkan proses pengeliminasian dan pereduksian kesalahan dan bias pada proses pengurangan data (*differencing*), yang pada dasarnya hanya efektif untuk baseline yang tidak terlalu panjang (kurang dari 20-30 km). Perangkat lunak komersil, tidak seperti halnya perangkat lunak ilmiah, tidak disiapkan untuk mengestimasi parameter-parameter dari kesalahan dan bias, dan model kesalahan dan bias yang dipunyai biasanya hanya model troposfir serta model ionosfir satu frekuensi.

Pada survei GPS untuk keperluan survei pemetaan, perangkat lunak komersil umumnya digunakan, dan untuk keperluan yang menuntut ketelitian relatif lebih tinggi, seperti survey geodetik dan studi geodinamika, maka perangkat lunak ilmiah yang harus digunakan. Secara spesifik, berkaitan dengan strategi pengolahan data survei GPS, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, yaitu antara lain (Abidin, 2011):

- a. Perangkat lunak yang digunakan harus dapat memproses data dari survei-survei GPS metode statik maupun metode statik singkat, dan akan lebih baik kalau juga dapat melayani metode survei *stop-and-go*, maupun survei pseudo-kinematik.
- b. Perangkat lunak yang akan digunakan untuk mengolah data survei GPS sebaiknya mempunyai kemampuan untuk melakukan tahapan-tahapan perhitungan berikut :

- Pemrosesan awal, yang mencakup antara lain transformasi data, normalisasi data, pendeteksian dan pembuangan data yang tidak baik;
  - Penentuan posisi secara absolut dengan menggunakan data *pseudorange*;
  - Penentuan baseline secara pendekatan dengan menggunakan pemrosesan data fase *triple-difference*;
  - Pendeteksian dan pengkoreksian *cycle slips*;
  - Penentuan baseline dengan menggunakan data fase *double-difference* yang ambiguitas fase tetap dibiarkan sebagai bilangan pecahan;
  - Penentuan (resolusi) ambiguitas dari data pengamatan fase;
  - Penentuan harga final baseline dengan menggunakan data fase *double difference* yang ambiguitas fase merupakan bilangan bulat;
  - Perataan jaringan (*network adjustment*) untuk menentukan koordinat akhir dari titik-titik kerangka dalam jaringan, baik dengan metode perataan jaring bebas maupun perataan jaring terikat; dan
  - Pentransformasian koordinat dari satu datum ke datum lainnya, serta perhitungan (transformasi) koordinat ke dalam suatu sistem proyeksi peta tertentu.
- c. Perangkat lunak yang akan digunakan juga sebaiknya dapat memberikan informasi yang dapat digunakan sebagai parameter pengontrol kualitas dari data pengamatan GPS, yaitu seperti :
- Jumlah data yang tidak baik dan dibuang.
  - Matriks varian-kovarian dari setiap vektor vektor.
  - Matriks varian-kovarian dari setiap koordinat titik dalam jaringan.
  - Baseline-baseline *outliers* yang perlu ditolak.
  - Grafik residual dari data fase yang digunakan.
- d. Perangkat lunak perhitungan baseline yang akan digunakan sebaiknya mampu menghitung besarnya bias

troposfir berdasarkan data ukuran suhu, tekanan, dan kelembaban udara dengan menggunakan metode yang sudah dikenal seperti Hopfield dan Saastamoinen.

- e. Perangkat lunak perhitungan baseline yang akan digunakan sebaiknya mampu menghitung koreksi ionosfir untuk data GPS *single* frekuensi dengan menggunakan metode Klobuchar, dan juga mampu memberikan solusi bebas ionosfir untuk kasus data dua frekuensi.

#### 2.12.1 Perangkat Lunak Pengolahan GPS Ilmiah: GAMIT/GLOBK 10.6

GAMIT (*GPS Analysis Massachusset Institute of Technology*) dan GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) yang merupakan perangkat lunak yang bersifat ilmiah dan bersifat *open source* dengan platform berbasis UNIX/LINUX.

GAMIT adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh Massachusetts Institute of Technology (MIT) dan Scripps Institution of Oceanography (SIO) dan Harvard University dengan dukungan dari National Science Foundation untuk melakukan analisis pengamatan GPS yaitu estimasi koordinat stasiun, percepatan, fungsi post-seismik deformasi, *atmospheric delay*, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. Perangkat lunak ini dapat diperoleh tanpa perjanjian tertulis atau royalti oleh perguruan tinggi dan instansi pemerintah untuk tujuan non-komersial. Perangkat lunak ini dapat menghasilkan orbit satelit, parameter orientasi bumi, dan posisi relatif tiga dimensi dari pengamat dengan tingkat ketelitian tinggi karena data yang digunakan selain data *broadcast ephemeris*, juga digunakan data *precise ephemeris*.

GLOBK adalah satu paket program yang dapat mengkombinasikan hasil pemrosesan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Data input pada GLOBK adalah matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan koordinat hasil pengamatan lapangan. Ada tiga fungsi yang dilakukan dalam oleh GLOBK (Herring dan King, 2015), yaitu:

- a. Mengkombinasikan hasil pengolahan individual (misal: harian) untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari.
- b. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individual, yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runut waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan.
- c. Mengkombinasikan sesi pengamatan individu dengan koordinat stasiun dianggap stokastik. Hasilnya adalah koordinat *repeatabilities* untuk mengevaluasi tingkat presisi pengukuran harian atau tahunan.

GAMIT adalah program yang memasukkan algoritma hitung kuadrat terkecil dengan parameter berbobot untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumpulan stasiun, parameter orbit dan rotasi bumi, *zenith delay* dan ambiguitas fase melalui pengamatan *double difference*. Proses GAMIT dapat dijalankan dengan *automatic batch processing* dengan masukan data RINEX, brdc, igs, dan pengaturan pada folder tables. Kelebihan dari *software* ini adalah bisa memasukkan data koreksi atmosfer, pasang surut laut, dan pemodelan cuaca. Pembobotan stasiun pengamatan, informasi stasiun, koordinat pendekatan, edit sesi pengamatan bisa dimasukkan dalam pengolahan data dengan *software* ilmiah ini. Hasil

keluaran dari software GAMIT berupa estimasi dan matrik kovarian dari posisi stasiun dan parameter orbit dan rotasi bumi yang kemudian dimasukkan pada GLOBK. GLOBK adalah *kalman filter* yang tujuan utamanya untuk mengkombinasikan solusi dari data yang telah di proses di GAMIT dengan pengamatan *space geodesy*, sehingga didapat estimasi posisi dan kecepatannya.

#### 2.12.2 Perangkat Lunak Pengolahan GPS Komersil: Topcon Tools

Topcon Tools adalah perangkat lunak untuk mengolah data secara *post-processing*, analisa jaringan dan perataan yang dikeluarkan oleh salah satu perusahaan alat pengukuran Topcon. Sebagai alat pengolahan data GPS, Topcon Tools dapat digunakan untuk (Topcon, 2009):

- a. *Post processing* GPS baselines.
- b. *Processing* TS dan observasi RTK.
- c. Perataan Jaring.
- d. Impor data *files* ke komputer dari alat atau dari komputer.
- e. Ekspor data *files* ke komputer atau ke alat.

Topcon Tools menyajikan data dan representasi grafik dengan fitur sebagai berikut:

- a. Dapat bekerja dengan permukaan dan jalan, menyelesaikan tugas CoGo, dan mengolah dengan sesi memindai dan stereopairs.
- b. Tampilan *tabular view* digunakan untuk melihat informasi titik, melihat vektor atau informasi pekerjaan, melihat data dengan nama yang sama, dan menyortir baris dalam urutan abjad oleh waktu atau meningkatkan atau menurunkan nilai.
- c. Tampilan *map view* untuk menampilkan konfigurasi jaringan umum, menampilkan beberapa gambar,

memperkirakan saling posisi titik dan vektor, dan penyelesaian yang diperlukan vektor atau titik.

- d. Tampilan *occupation view* untuk menampilkan pekerjaan (*project*).
- e. Tampilan CAD untuk menampilkan gambar garis dan permukaan dengan titik dan garis yang berhubungan.

## **2.14 Uji Statistik**

Dalam melakukan uji hipotesis, ada banyak faktor yang menentukan, seperti apakah sampel yang diambil berjumlah banyak atau hanya sedikit; apakah standar deviasi populasi diketahui; apakah varians populasi diketahui; metode parametrik apakah yang dipakai, dan seterusnya.

Langkah-langkah untuk menguji suatu hipotesis adalah (Santoso, 2008):

1. Menentukan hipotesa nol ( $H_0$ ) dan hipotesa alternatif.  $H_0$  merupakan hipotesis nilai parameter dengan dibandingkan dengan hasil perhitungan dari sampel.  $H_0$  ditolak hanya jika hasil perhitungan dari sampel tidak mungkin memiliki kebenaran terhadap hipotesis yang ditentukan terjadi.  $H_a$  diterima jika  $H_0$  ditolak.
2. Menentukan tingkat signifikansi yang digunakan. Tingkat signifikansi merupakan standar statistik yang digunakan untuk menolak  $H_0$ . Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% ( $\alpha = 0.05$ ).  $H_0$  ditolak hanya jika hasil perhitungan dari sampel sedemikian berbeda dengan nilai dugaan (yang dihipotesakan).
3. Memilih uji statistik.
4. Menentukan statistik tabel. Nilai statistik tabel dipengaruhi oleh:
  - a. Tingkat kepercayaan
  - b. Derajat kebebasan
  - c. Jumlah sampel yang didapat.
5. Menentukan statistik hitung



## 6. Mengambil keputusan

Pada uji statistik ini digunakan uji statistik uji-F. Uji ini dilakukan dengan membandingkan variansi dari kedua pengolahan, pada uji ini dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \text{ atau } F = \frac{s_2^2}{s_1^2} \quad F = \frac{\text{large sample variance}}{\text{small sample variance}} \quad (2.11)$$

Uji Statistik yang digunakan untuk menentukan penolakan dari hipotesis nol (Wolf dan Ghilani, 2006).

$$F_{\alpha/2, v_1, v_2} = \frac{1}{F_{1-\alpha, v_2, v_1}} \quad (2.12)$$

Dimana :

$\alpha$  = selang kepercayaan (%)

$v_1$  = *numerator degrees of freedom*

$v_2$  = *denominator degress of freedom*

Hipotesa nol yang digunakan pada uji statistik ini adalah metode pengolahan tidak terdapat perbedaan yang signifikan, sehingga:

Hipotesa nol  $H_0 : dV = 0$

Hipotesa alternatif  $H_0 : dV \neq 0$

Apabila dari uji hipotesis 0 menunjukan  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , maka tidak terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan. Sebaliknya apabila dari uji hipotesis alternatif menunjukan  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan.

## 2.15 Penelitian Sebelumnya

Studi tentang perbandingan pengolahan data GPS CORS dilakukan oleh Rahadi (2013) dengan judul “Analisis Ketelitian Pengukuran Baseline Panjang GNSS Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.4 dan Topcon Tools V.7”. Penelitian tersebut menjelaskan tentang perbandingan ketelitian pengolahan data GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.4 dan perangkat lunak Topcon

Tools V.7. Pada penelitian ini menggunakan metode baseline panjang antara titik pengamatan dengan titik kontrol GNSS CORS UNDIP dan GNSS CORS BIG dengan panjang baseline lebih dari 20 km. Dari hasil yang pengolahan data yang dilakukan diperoleh hasil rata rata standar deviasi pengolahan menggunakan perangkat lunak GAMIT lebih kecil daripada Topcon Tools yaitu 0,020 m sementara pengolahan Topcon Tools sebesar 0,028 m.

Kaniuth dan Volksen (2001) melakukan penelitian dengan judul “Comparison of the BERNESE and GIPSY/OASIS II Software Systems Using EUREF Data”. Penelitian ini menjelaskan perbandingan antara dua perangkat lunak pengolahan GPS ilmiah yaitu GIPSY/OASIS dan BERNESE. Pada penelitian ini dijelaskan karakteristik pengolahan data antara dua perangkat lunak tersebut menggunakan data EUREF yang didapatkan dari pengolahan *baseline* tunggal dan jaring kontrol.

Menurut penelitian sebelumnya Nathania (2013) yang berjudul “Kajian Pengaruh Penggunaan Metode Survei GPS Jaring Tertutup dan Radial Terhadap Ketelitian Posisi” menerangkan bahwa hasil pengolahan yang didapatkan, metode jaring tertutup lebih teliti daripada radial namun dengan level perbedaan hanya dalam milimeter sampai sentimeter. Hal ini juga didukung oleh semakin berkembangnya teknologi *receiver*, perangkat lunak pengolahan data GPS, serta semakin banyaknya jumlah satelit, ketelitian posisi dengan menggunakan metode radial mungkin akan menyamai ketelitian dengan metode jaring tertutup. Untuk kegiatan survei GPS yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi dapat saja menggunakan metode pengamatan radial.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian terletak pada jaringan stasiun pemantauan GPS CORS yang berada pada kawasan Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Area studi ini terletak di posisi geografis lintang  $7^{\circ}32'5''$  LS dan  $110^{\circ}26'5''$  BT. Lereng sisi selatan berada dalam administrasi Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan sisanya berada dalam wilayah Provinsi Jawa Tengah, yaitu Kabupaten Magelang di sisi barat, Kabupaten Boyolali di sisi utara dan timur, serta Kabupaten Klaten di sisi tenggara. Gunung Merapi memiliki ketinggian 2,968 m dpl (per 2006) (BPPTKG, 2014).



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

### 3.2 Data dan Peralatan

Data dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Data

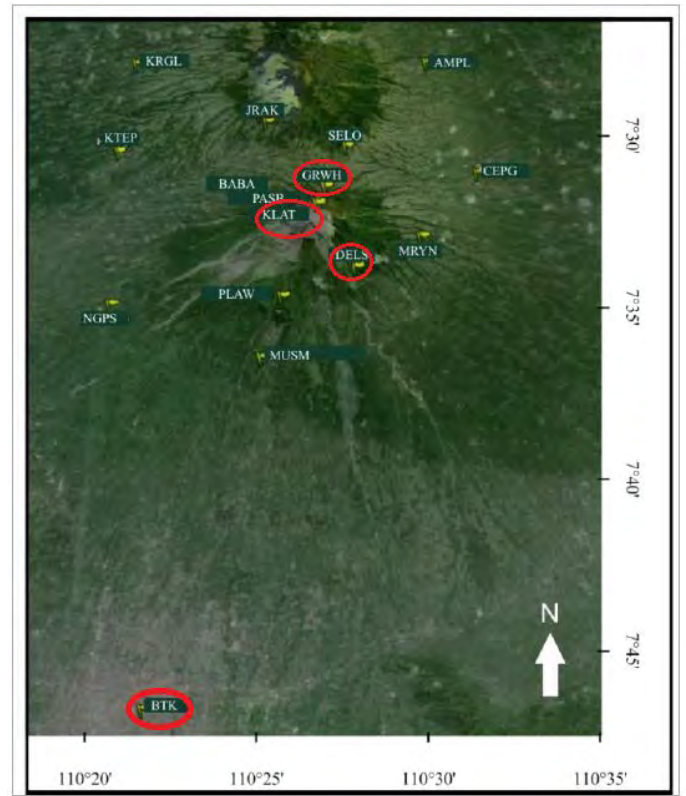
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### 1. Data RINEX

Data pengamatan GPS yang digunakan adalah data RINEX pada bulan Juli tahun 2015 (*day of year* 182-212). Data tersimpan setiap jam dalam format RINEX dengan sampling pengukuran tiap 1 detik. Data GPS bersumber dari hasil pemantauan kontinyu. Data pengamatan GPS diunduh di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta. Data pengamatan yang digunakan adalah data pengamatan GPS CORS DELS, GRWH, KLAT, dan BPTK pada bulan Juli tahun 2015.

Tabel 3.1. Lokasi data pengamatan GPS  
(BPPTKG,2014)

No	Stasiun	Lokasi
1	BPTK	Kantor Pusat, BPPTKG
2	DELS	Desa Deles, Klaten
3	GRWH	Desa Grawah, Boyolali
4	KLAT	Desa Klatakan, Magelang



Gambar 3.2 Lokasi Stasiun Pemantauan GPS CORS di Gunung Merapi (BPPTKG, 2014)

2. Ada 3 file tambahan yaitu: file-file atmosfer (atmdisp\_YYYY), gelombang pasang surut (otl\_FES2004.grd), file pemodelan cuaca (vmf1grd.YYYY) yang dapat diunduh melalui <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS/>.
3. Data sekunder dalam pengolahan GPS yang terdiri dari file *navigation message broadcast* (brdc), file *satellite precise Ephemeris* (sp3) dapat diunduh secara

otomatis melalui perangkat lunak GAMIT/GLOBK atau melalui <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov>.

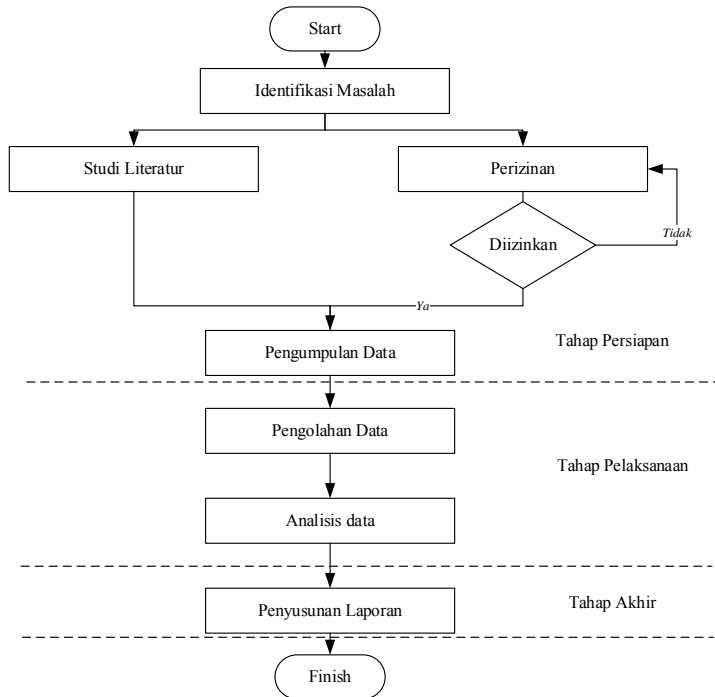
### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perangkat keras (*hardware*)
  - a. GPS Receiver Leica GR 10
  - b. Antena GPS Leica AR 10
  - c. Komputer
2. Perangkat lunak (*software*)
  - a. Sistem operasi Linux Ubuntu 15.04 dan Windows 7
  - b. *Software* GAMIT dan GLOBK 10.6 sebagai perangkat lunak ilmiah pengolahan data GPS.
  - c. *Software* Topcon Tools 8.2 sebagai perangkat lunak komersil pengolahan data GPS.
  - d. *Software* GMT 5.1.1 digunakan untuk plotting hasil pengolahan GAMIT/GLOBK.
  - e. *Software* TEQC digunakan untuk penggabungan data RINEX.
  - f. *Software* Matlab 2010a digunakan untuk transformasi koordinat ke sistem toposentrik.
  - g. Microsoft Office Excel digunakan untuk pengolahan hasil tabular koordinat dari GAMIT dan Topcon.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian yang direncanakan digambarkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

#### 1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah:

- a. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah perbandingan akurasi ketelitian titik pengamatan stasiun GPS CORS Gunung Merapi yang dihasilkan antara perangkat lunak ilmiah serta perangkat lunak komersil berdasarkan metode jaringan tertutup dan radial dengan perhitungan *post processing*.
- b. Studi literatur pada tahapan ini bertujuan untuk memperoleh referensi pustaka terkait dengan masalah yang akan diangkat dalam penelitian. Studi literatur



yang dilakukan terutama berhubungan dengan GPS, referensi pengolahan data GPS dengan *post processing*, serta studi literatur mengenai ketelitian dan standar deviasi.

- c. Perizinan kegiatan ini merupakan kegiatan perizinan untuk mengadakan penelitian di lokasi tersebut, perizinan ini dilakukan pada pihak yang terkait, agar proses pengambilan data berlangsung secara lancar dan legal.

## 2. Tahap Pengolahan dan Analisa

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data yang telah didapat dan data penunjang lainnya, kemudian dilakukan analisa pada keseluruhan perolehan data. Kegiatan ini meliputi:

### a. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan *post processing* dengan perangkat lunak ilmiah dan perangkat lunak komersil. Tahapan pengolahan data lebih lanjut dijelaskan pada gambar 3.4.

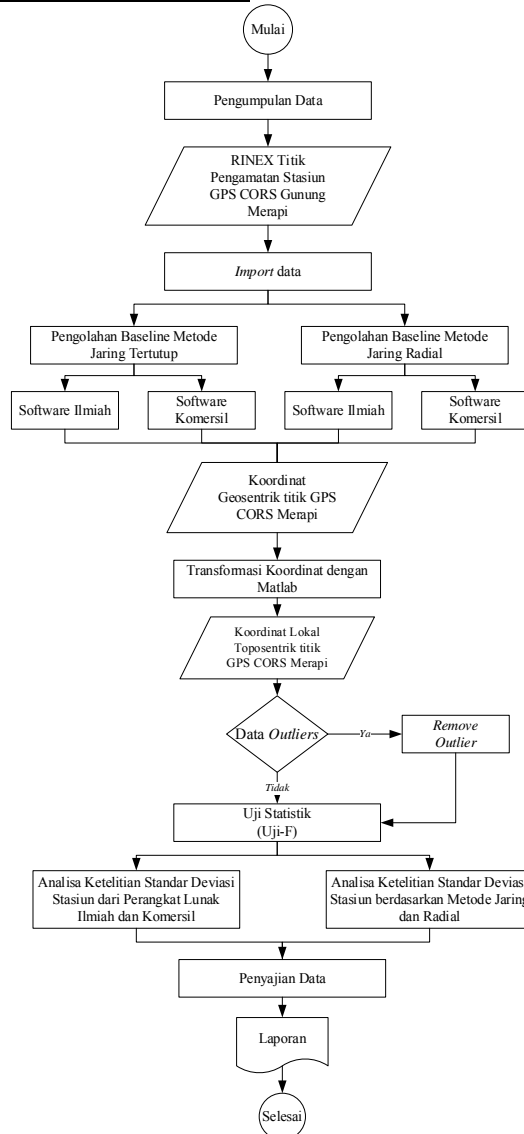
### b. Analisa Data

Data yang telah diolah kemudian dianalisa sedemikian rupa sehingga diperoleh suatu hasil perbedaan hasil standar deviasi dan perbedaan akurasi ketelitian yang dihasilkan oleh perangkat lunak ilmiah dan perangkat lunak komersial berdasarkan metode jaring dan radial.

## 3. Tahap Akhir

Penyusunan laporan merupakan kegiatan atau tahap akhir dari tugas akhir ini, dimana laporan ini mencakup seluruh kegiatan dari proses hingga hasil akhir dari penelitian.

### 3.4 Tahapan Pengolahan Data



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data

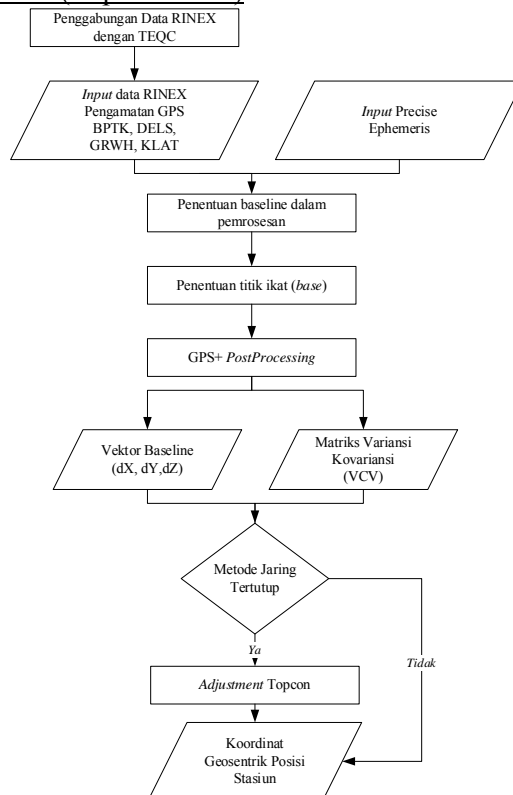
Berikut ini adalah penjelasannya:

1. Pengumpulan data didapatkan dari mengunduh data RINEX dari pusat data di kantor BPPTKG Yogyakarta.
2. *Import* data titik pengamatan GPS CORS Gunung Merapi dan menentukan *base* atau titik ikat yang digunakan. Titik ikat yang digunakan berjumlah 1 yaitu GPS CORS BPTK.
3. Pengolahan baseline dilakukan dengan perhitungan *post processing* dengan perangkat lunak ilmiah dan perangkat lunak komersil. Pengolahan baseline dengan perangkat lunak dibagi sesuai dengan metode konfigurasi jaring yang digunakan yaitu metode jaring tertutup dan metode jaring radial.
4. Hasil koordinat yang dihasilkan baik perangkat lunak ilmiah ataupun komersil berbentuk koordinat geosentrik. Untuk menjadikan koordinat tersebut dalam bentuk lokal toposentrik maka semua koordinat yang dihasilkan pada perangkat lunak ilmiah dan komersil dibawa ke dalam satu sistem melalui transformasi koordinat menggunakan perangkat lunak Matlab.
5. Analisa *outliers* digunakan untuk mendeteksi nilai yang tidak memenuhi kriteria. *Outliers* adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data. Data yang berupa *outliers* tersebut kemudian dihilangkan agar hasil tidak menjadi bias.
6. Dalam penelitian ini dilakukan uji statistik untuk mengidentifikasi signifikansi perbedaan ketelitian titik pengamatan GPS CORS Merapi dari metode jaring dan metode radial hasil pengolahan dari perangkat lunak ilmiah dan komersil.
7. Analisa standar deviasi digunakan untuk menentukan rata-rata jarak penyimpangan titik-titik data diukur dari nilai rata-rata data tersebut. Parameter yang digunakan untuk menentukan standar deviasi antara perangkat lunak ilmiah dan komersil antara titik pengamatan stasiun GPS CORS

Gunung Merapi adalah koordinat lokal toposentrik *north*, *east*, dan *up*.

8. Penyajian data dilakukan untuk menampilkan analisa data yang telah dilakukan baik dalam bentuk tabel, gambar, atau grafik.
9. Laporan merupakan kegiatan atau tahap akhir dari penelitian ini.

### 3.4.1 Tahapan Pengolahan Data GPS dengan Perangkat Lunak Komersil (Topcon Tools)

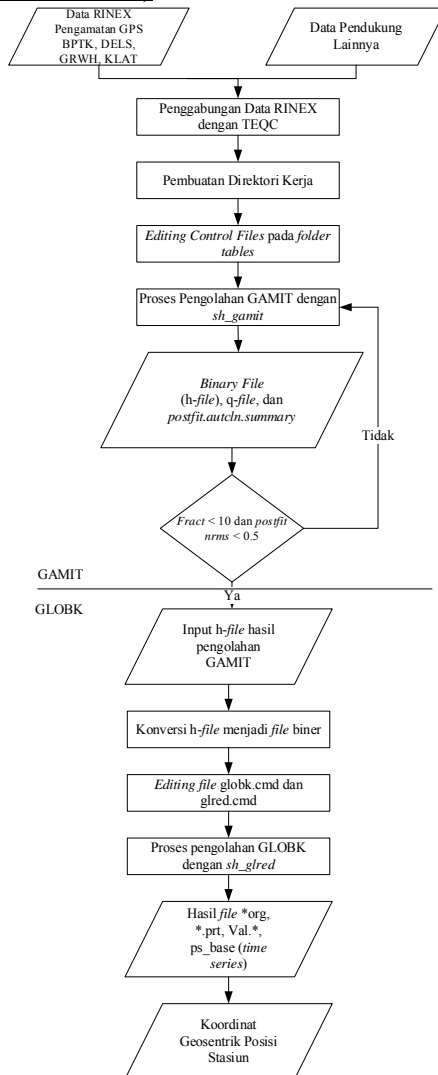


Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data GPS CORS dengan Topcon Tools

Berikut ini adalah penjelasan pengolahan data GPS dengan Topcon Tools 8.2 :

1. Data RINEX tersimpan dalam setiap jam dilakukan penggabungan data RINEX menjadi satu hari dengan perangkat lunak TEQC.
2. *Import* data RINEX dan data *precise ephemeris* dengan cara pilih *job* pada *menu bar* kemudian pilih *import*.
3. Menentukan baseline yang diikutkan dalam proses pengolahan. Pada metode jaring seluruh baseline diikutkan dalam pengolahan, sedangkan pengolahan baseline metode radial hanya baseline yang diikutkan dengan titik ikat *base* BPTK yang diikutkan dalam pengolahan.
4. Tentukan titik ikat yang digunakan dalam proses pengolahan dengan mengubah menjadi *control both (horizontal & vertical)*.
5. Pengolahan data dengan *post-processing* pada Topcon Tools dilakukan dengan cara pilih *process* pada *menu bar* kemudian pilih *GPS PostProcessing*.
6. Perataan jaring untuk konfigurasi jaring tertutup pada Topcon Tools dilakukan dengan cara pilih *process* pada *menu bar* kemudian pilih *adjustment*. Pada konfigurasi radial tidak perlu melakukan proses *adjustment* karena menghasilkan hasil koordinat dan standar deviasi yang sama hasil dari *post-processing*.
7. Koordinat hasil pengolahan Topcon Tools adalah koordinat geosentrik yang dapat dilihat pada tabel tabular *points* Topcon Tools.

### 3.4.2 Tahapan Pengolahan Data GPS dengan Perangkat Lunak Ilmiah (GAMIT/GLOBK)



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data GPS CORS dengan GAMIT/GLOBK

Berikut ini adalah penjelasan pengolahan data GPS dengan GAMIT/GLOBK 10.6 :

1. Data RINEX pengamatan GPS yang digunakan adalah BPTK, DELS, GRWH, dan KLAT pada bulan Juli 2015.
2. Data RINEX tersimpan dalam setiap jam dilakukan penggabungan data RINEX menjadi 1 hari dengan perangkat lunak TEQC agar bisa diolah dalam perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Proses menjalankan perangkat lunak TEQC dilakukan melalui *command prompt*, file RINEX diletakkan dalam satu direktori dengan *software* teqc.exe. Sebelum menjalankan perintah teqc, *command prompt* harus masuk ke direktori teqc. Setelah masuk kedalam direktori masukkan perintah berikut ini:

```
teqc -phc [file1.obs] [file2.obs] > filenew.obs
```

dimana <-phc> adalah perintah khusus pada teqc untuk menghapus *post header comment*. [file1.obs] dan [file2.obs] merupakan contoh file pertama dan kedua yang akan digabungkan, pada penelitian kali ini terdapat 24 file RINEX yang akan digabungkan menjadi satu file dalam format harian. Yang terakhir adalah “filenew.obs” merupakan file output dari proses penggabungan menggunakan *software* TEQC.

3. Pembuatan direktori kerja

Pengolahan data dengan GAMIT diperlukan pembuatan direktori kerja yang dibuat di dalam masing-masing direktori *project* yang digunakan. *Project* tersebut berisi folder-folder berikut ini:

- a. rinex, folder yang digunakan untuk menyimpan file-file RINEX observasi pengamatan dan titik kontrol.
- b. igs, folder yang digunakan untuk menyimpan file final IGS *precise ephemeris* dengan format \*.sp3.
- c. brdc, folder yang digunakan untuk menyimpan file navigasi global sesuai dengan *doy project* yang akan diolah.

- d. *Tables*, folder yang berisi file-file kontrol dari pengolahan GAMIT. Folder *tables* dibuat secara otomatis menggunakan perintah bawaan dari perangkat lunak GAMIT.
4. Pengaturan *control files* pada folder *tables*  
*Control files* pada folder *tables* merupakan *link* dari folder *tables* pada perangkat lunak GAMIT/GLOBK dengan menjalankan perintah:

```
sh_setup -yr 2015 -apr itr08.apr
```

Pengaturan *control files* yang dilakukan adalah:

- a. File *lfile*, berisi koordinat pendekatan (apriori) dari stasiun pengamatan global. Koordinat dari stasiun BPTK, DELS, GRWH, KLAT didapatkan data apriori dari masing-masing RINEX-nya.
- b. File *station.info*, berisi informasi tentang stasiun titik yang diolah. Informasi tersebut diantaranya adalah informasi waktu (*session start* dan *session stop*) yang menunjukkan waktu mulai dan berakhirnya pengukuran, *antenna type*, dan *receiver type*. *Antenna type* digunakan untuk memasukkan kode dari tipe antena. Informasi pada antena yaitu Ant Ht digunakan untuk memasukkan tinggi antena, HtCod digunakan untuk kode menentukan pusat fase (sesuai dengan antena). Sedangkan *receiver type* digunakan untuk memasukkan kode receiver yang digunakan. Informasi tersebut diisikan berdasarkan informasi dari file RINEX pengamatan. Jika dalam file RINEX tidak didapatkan, informasi dapat diisikan berdasarkan file katalog dalam folder *tables* pada GAMIT. File *rcvant.dat* untuk menentukan *receiver type* dan *antenna type* dan file *hi.dat* untuk kode HtCod.
- c. File *sites.defaults*, merupakan file yang digunakan untuk mengontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan GAMIT dan GLOBK. Pengisian file ini diisi dengan nama stasiun (*site*), nama *project* yang



digunakan (*expt*), dan opsi lainnya (seperti: *localrx* dan *xstinfo*).

- d. File *sestbl*, merupakan file yang digunakan dalam proses pengolahan. *Choice of experiment* yang digunakan adalah opsi “BASELINE”. Bagian lain yang diedit adalah *atml.grid* sebagai kandungan atmosfer pilih opsi “Y”, *map.grid* sebagai pengeplotan koordinat *repeatabilities* dengan GMT pilih opsi “Y”, serta *otl.grid* sebagai pemodelan pasang surut air laut pilih opsi “Y”. Bagian lainnya tidak perlu diubah dan mengikuti nilai yang diberikan oleh GAMIT.
  - e. File *sittbl*, merupakan file yang digunakan untuk memasukkan nilai *constraint* dari setiap stasiun yang diolah oleh GAMIT. File ini sudah berisi nilai *constraint* untuk stasiun global yang dapat digunakan sebagai titik kontrol. Nilai setiap titik berbeda-besarnya, tergantung fungsi dari titik tersebut sebagai titik pengamatan atau sebagai titik kontrol. Nilai *constraint* kecil mendekati nol mengakibatkan nilai bobotnya besar (asumsi stasiun stabil). Sedangkan nilai *constraint* besar mendekati 100, mengakibatkan nilai bobot menjadi kecil (asumsi stasiun tidak stabil).
  - f. File *process.defaults*, merupakan file yang digunakan untuk menentukan lokasi direktori yang digunakan pada *project* yang sedang dijalankan. File ini juga digunakan untuk menentukan file navigasi yang digunakan serta *apr* file yang digunakan pada GLOBK. Pada pengaturan ini opsi yang digunakan adalah *set brdc = auto* dan *set aprf = itr08.apr*. Bagian lainnya dibiarkan *default* sesuai yang diberikan GAMIT.
5. Pengolahan menggunakan GAMIT
- Perintah untuk menjalankan proses pengolahan GAMIT dengan *automatic batch processing* pada direktori kerja sebagai berikut:

```
sh_gamit -s yyyy ddd1 ddd2 -expt <expt> -nogifs y
```

### Keterangan

- yyyy : tahun data yang diolah  
 ddd<sub>1</sub> : DOY awal data yang diolah  
 ddd<sub>2</sub> : DOY akhir data yang diolah  
 <expt> : nama experiment yang sudah ditentukan pada *sites.defaults*.  
 nogifs : tidak menggunakan file gifs

6. File hasil yang didapat dari pengolahan GAMIT adalah folder sebanyak doy yang diolah. Setiap folder doy menghasilkan beberapa file yaitu: *q-file*, *h-file*, dan *Sh\_gamit.summary*. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap hasil pengolahan dengan membuka *q-file* seri "a" pada setiap folder/doy dengan kriteria sebagai berikut:
  - a. Solusi harian yang baik menghasilkan *normalized root mean square* harus kurang dari 0,3. Jika lebih besar dari 0,5 maka mengindikasikan adanya masalah seperti *cycle-slip* yang tidak bisa dihilangkan, stasiun *fixed* dengan koordinat yang jelek, dll.
  - b. Solusi bagian *fract* masing-masing titik pada masing-masing komponen harus kurang dari 10. Nilai *fract* di atas 10 mengindikasikan ada kesalahan kasar dan sistematis pada proses pengolahan tersebut. *Fract* merupakan hasil perbandingan antara nilai adjust dan nilai formal.

Setelah evaluasi pengolahan GAMIT sudah memenuhi nilai yang ditetapkan, dilanjutkan dengan proses pengolahan dengan GLOBK.

7. Input *h-file* hasil pengolahan GAMIT dan *h-file* global dalam masing-masing sebuah folder dan konversi *h-file* tersebut ke dalam format biner menggunakan perintah command sebagai berikut:

```
htoglb <direktori output> <ephemeris file> <direktori input files>
```

### Keterangan

<direktori output>: direktori penyimpanan output hasil

konversi modul htoglb

<ephemeris file>: nama ephemeris file yang akan dihasilkan oleh modul htoglb

<direktori input files>: direktori penyimpanan h-file pengolahan GAMIT dan h-file global yang dipakai.

Keluaran dalam bentuk biner akan berformat \*.glx (solusi bias-fixed) dan \*.glr (solusi bias-free). Data biner format \*.glx yang dipakai dalam pengolahan GLOBK. File berformat \*.glx perlu digabungkan menjadi satu file dengan format \*.gdl. Penggabungan dapat dilakukan dengan menuliskan perintah sebagai berikut:

```
ls ../[directory input]/*.glx > [nama.project].gdl
```

Hasil dari perintah tersebut adalah munculnya file “nama project.gdl”.

#### 8. Editing file *globk\_cmd* dan *glorg\_cmd*.

Sebelum masuk ke pengolahan GLOBK, hal yang dilakukan adalah *editing* file *globk\_comb.cmd* dan *glorg\_comb.cmd*, yang dapat disalin dari folder ~/gg/tables, kemudian file tersebut ditempatkan di folder *gsoln* pada *project* yang akan diolah. Pada bagian *prt\_opt* dan *opt\_prt* tambahkan opsi *BLEN* dan *UTM* untuk mendapatkan panjang baseline dan output koordinat UTM.

#### 9. Pengolahan menggunakan GLOBK

Selanjutnya menjalankan pengolahan GLOBK untuk perhitungan dan *plotting coordinate repeatabilities* secara *time series* dengan perintah sebagai berikut.

```
sh_glred -s yyyy1 ddd1 yyyy2 ddd2 -expt <expt> -opt  
H G E
```

Keterangan

yyyy<sub>1</sub> : tahun awal data yang diolah

ddd<sub>1</sub> : DOY awal data yang diolah

yyyy<sub>2</sub> : tahun akhir data yang diolah

ddd<sub>2</sub> : DOY akhir data yang diolah

<expt> : nama experiment (nama *project*)

- H : memindah *h-file* ke dalam direktori glbf
  - G : membentuk file ekstensi .gdl pada setiap harinya ke dalam direktori gsoln
  - E : plotting *time series*
10. Hasil dari pengolahan GLOBK adalah file VAL.<expt>, plotting *time series* (ps\_base), *print-files* (\*.prt) yang berisi solusi *loosely constraint* dari GLOBK, dan *org-files* (\*.org) yang berisi koordinat toposentrik (*north, east, up*) dan koordinat geosentrik (X,Y,Z) beserta standar deviasi setiap stasiunnya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perbandingan Proses Pengolahan Data GPS dengan Perangkat Lunak Ilmiah dan Komersil

Pengolahan data GPS pada prinsipnya ada dua jenis perangkat lunak yang dapat digunakan, yaitu perangkat lunak komersil yang dikeluarkan oleh perusahaan *receiver* GPS, seperti Topcon Tools dan perangkat lunak ilmiah yang dikeluarkan oleh lembaga-lembaga penelitian atau universitas, seperti GAMIT (oleh MIT). Pada tabel 4.1 ditampilkan perbandingan proses pengolahan data antara kedua perangkat lunak tersebut mulai dari data yang dibutuhkan sampai proses penentuan koordinat akhir.

Tabel 4.1 Perbandingan proses pengolahan data antara perangkat lunak ilmiah dan komersil

N o	Tahapan Pengolahan	Proses GAMIT/GLOBK	Proses Topcon Tools
1	Data Primer	Data RINEX 4 Stasiun GPS CORS Merapi	
2	Data Sekunder	a. File atmosfer b. File gelombang pasang surut c. File pemodelan cuaca	-
3	<i>Navigation Message</i>	a. <i>Broadcast ephemeris</i> (brdc*.) b. <i>Precise ephemeris</i> (*.sp3)	<i>Precise ephemeris</i> (*.sp3)
4	Proses Input Data	Pembuatan 4 direktori kerja yaitu: a. rinex, untuk file rinex. b. igs, untuk file <i>precise ephemeris</i> . c. brdc, untuk file <i>broadcast ephemeris</i> . d. <i>tables</i> , untuk file-file kontrol yang dibuat secara otomatis dengan <i>command</i> tertentu.	<i>Import</i> data dengan cara pilih <i>job</i> pada <i>menu bar</i> kemudian pilih <i>import</i> .
5	Penentuan Titik Ikat	Pengaturan <i>file sittbl</i> dengan memasukkan nilai <i>constraint</i> pada stasiun BPTK dengan nilai	Menentukan titik ikat dengan mengubah titik BPTK menjadi

No	Tahapan Pengolahan	Proses GAMIT/GLOBK	Proses Topcon Tools
		0,001 0,001 0,01 (asumsi stasiun stabil).	<i>control both</i> pada tab <i>points</i> . 
6	Ambiguitas Fase	<i>fixed</i>	
7	Penentuan Koordinat Pendekatan	Pengaturan <i>file lfile</i> didapatkan dari data apriori masing-masing data RINEX.	Proses mendapatkan koordinat pendekatan otomatis dengan algoritma tertentu.
8	Jumlah Proses Pengolahan	2 kali pengolahan data. a. proses GAMIT b. proses GLOBK	1 kali pengolahan data.
9	Pengaturan Tambahan	<p>Proses GAMIT dilakukan pengaturan 4 file pada folder tables:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>station.info</i> untuk mengatur informasi stasiun, waktu, tipe antenna, dan tipe <i>receiver</i>.</li> <li>b. <i>sites.defaults</i> untuk mengontrol penggunaan stasiun.</li> <li>c. <i>sestbl</i> untuk memuat karakteristik proses yang dieksekusi GAMIT salah satunya pilihan dalam menggunakan data sekunder.</li> <li>d. <i>process.defaults</i> untuk menentukan file navigasi dan apr file yang digunakan.</li> </ul> <p>Proses GLOBK dilakukan pengaturan 2 file pada folder <i>gsoln</i>:</p>	-

No	Tahapan Pengolahan	Proses GAMIT/GLOBK	Proses Topcon Tools
		a. <i>globk_comb.cmd</i> untuk menentukan file apr dan output yang diinginkan. b. <i>glorg_comb.cmd</i> untuk menentukan apr file dan <i>stabilization sites</i> .	
10	Proses Pengolahan Baseline	Proses pengolahan GAMIT dengan <i>automatic batch processing</i> dengan <i>command sh_gamit</i> .	Proses otomatis dengan memilih <i>process</i> pada <i>menu bar</i> kemudian pilih <i>GPS PostProcessing</i> .
11	Penentuan Koordinat Akhir	Proses pengolahan GLOBK untuk perhitungan dan <i>plotting coordinate repeatabilities</i> secara <i>time series</i> dengan <i>command sh_gled</i> .	Proses perataan pada Topcon Tools dengan memilih <i>process</i> pada <i>menu bar</i> kemudian pilih <i>adjustment</i> .
12	Perataan Jaring	Proses perataan otomatis dengan algoritma tertentu berdasarkan matriks variansi dan kovariansi (VCV) yang dihasilkan dari masing-masing perangkat lunak.	
13	Evaluasi Pengolahan	Evaluasi pada pengolahan GAMIT dilihat dari 2 indikator utama yaitu: <i>normalized root mean square</i> (nrms) dan <i>fract</i> serta informasi mengenai <i>wide lane</i> dan <i>narrow lane</i> .  Evaluasi pada pengolahan GLOBK yaitu indikator <i>weighted root mean square</i> (wrms) untuk mendeteksi nilai yang <i>outliers</i> .	<i>Quality control</i> yang sudah ditetapkan secara <i>defaults</i> pada perangkat lunak Topcon Tools dan tidak mempunyai evaluasi pengolahan yang baku.

Pada tabel 4.1 pengolahan data dengan perangkat lunak ilmiah (GAMIT/GLOBK) jauh lebih kompleks daripada pengolahan data dengan perangkat lunak komersil (Topcon Tools). Pengolahan GAMIT/GLOBK terdapat beberapa pilihan dalam mengestimasi efek dari kesalahan dan bias yang



didukung oleh beberapa data sekunder GAMIT seperti file atmosfer, gelombang pasang surut dan pemodelan cuaca. Data sekunder ini membuat tingkat hasil pengolahan data lebih presisi daripada pengolahan Topcon Tools. Pada pengolahan GAMIT/GLOBK terdapat beberapa evaluasi pengolahan dan mampu mendeteksi data *outliers* melalui *time series*, sementara pada perangkat lunak Topcon Tools tidak mempunyai evaluasi pengolahan yang baku. Sehingga pada pengolahan GAMIT/GLOBK dapat dianalisa lebih lanjut untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi sampai orde milimeter. Perbedaan pada proses pengolahan lainnya terletak pada penentuan koordinat pendekatan dimana pada pengolahan GAMIT ditentukan dengan mengedit *file lfile* sementara pada Topcon Tools tidak ditentukan atau otomatis ditentukan oleh perangkat lunak tersebut. Hal ini dikarenakan pada setiap perangkat lunak mempunyai algoritma yang berbeda dalam pengolahan data *pseudorange*. Data *pseudorange* pada perangkat lunak tersebut digunakan untuk menentukan koordinat pendekatan dan pendeteksian *cycle-slip*.

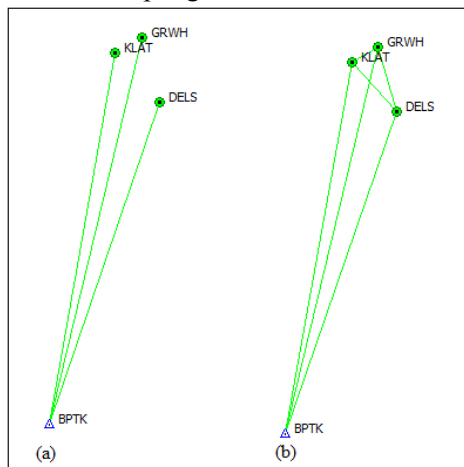
Pada perataan jaring perangkat lunak GAMIT menggunakan metode *double difference* dan prinsip metode parameter berbobot dalam perhitungan data *pseudorange* dan *carrier phase*. Persamaan observasi dengan menggunakan data fase. Hasil perataan jaring inilah yang menentukan hasil dari koordinat akhir pengolahan data GPS. Perbedaan dari perataan jaring pada perangkat lunak GAMIT dibandingkan dengan Topcon Tools adalah perangkat lunak GAMIT lebih canggih dalam strategi pengolahan data khususnya pada proses perataan jaring karena melibatkan stasiun IGS (Yosafat dalam Artini, 2014).

Perangkat lunak ilmiah mempunyai kelebihan dalam model matematik yang lebih lengkap dimana parameter-parameter yang berpengaruh kecil dimasukkan dalam perhitungan sedangkan dalam perangkat lunak komersil

diabaikan. Karena hal tersebut perangkat lunak ilmiah sangat direkomendasikan untuk pengolahan data GPS yang memerlukan ketelitian tinggi (sampai orde milimeter) seperti pemantauan deformasi dan studi geodinamika.

#### 4.2 Hasil Pengolahan Data GPS dengan Topcon Tools

Pengolahan data GPS menggunakan Topcon Tools menghasilkan nilai koordinat geosentrik dan standar deviasi *north, east, up* setelah dilakukan proses *post-processing* dan *auto-adjustment*. Pada pengolahan baseline metode jaring seluruh baseline diikuti untuk kemudian diolah secara *Post processing*. Sedangkan pengolahan baseline metode radial hanya baseline yang diikatkan dengan titik ikat *base* BPTK yang diikuti dalam pengolahan.



Gambar 4.1 Konfigurasi jaring baseline (a) Metode radial (b) Metode jaring tertutup

Hasil koordinat geosentrik pengolahan Topcon Tools disajikan dalam tabel 4.2 sebagai berikut. Pada tabel 4.2 menunjukkan perbedaan koordinat pengolahan Topcon Tools antara metode jaring dan radial mempunyai perbedaan sampai

fraksi desimeter untuk komponen Z dan fraksi sentimeter untuk komponen X dan Y.

Tabel 4.2. Rata rata koordinat geosentrik pengolahan data GPS dengan Topcon Tools 8.2

Stasiun	Rata-Rata Koordinat Metode Jaring (m)	Rata-Rata Koordinat Metode Radial (m)	Selisih (m)
<b>DELS X</b>	-2211188,795	-2211188,891	0,096
<b>DELS Y</b>	5925224,227	5925224,205	0,021
<b>DELS Z</b>	-834609,824	-834609,349	0,476
<b>GRWH X</b>	-2210272,701	-2210272,802	0,101
<b>GRWH Y</b>	5926931,535	5926931,506	0,029
<b>GRWH Z</b>	-829625,587	-829625,103	0,484
<b>KLAT X</b>	-2208191,888	-2208191,977	0,088
<b>KLAT Y</b>	5927411,534	5927411,497	0,037
<b>KLAT Z</b>	-830794,537	-830794,052	0,485

#### 4.3 Hasil Pengolahan Data GPS dengan GAMIT & GLOBK

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan GPS sepanjang 31 doy, dimulai awal bulan Juli 2015 (doy 182) hingga akhir bulan Juli 2015 (doy 212) pada tahun 2015. Pada pengolahan dengan GAMIT/GLOBK dilakukan dua metode pengolahan, yaitu:

- Metode jaring tertutup, dimana titik pengamatan per-doy diikatkan pada *base* stasiun BPTK yang berlokasi di kantor BPPTKG Yogyakarta.
- Metode radial, dimana masing-masing titik pengamatan diikatkan pada *base* stasiun BPTK (per-baseline) yang berlokasi di kantor BPPTKG Yogyakarta. Sehingga pada metode radial dilakukan 3 kali pengolahan data dengan GAMIT/GLOBK.

#### 4.3.1 Hasil Pengolahan Data GPS dengan GAMIT

Hasil yang didapat dari pengolahan GAMIT adalah folder sebanyak *doy* yang diolah. Setiap folder *doy* terdapat *h-files* hasil pengolahan GAMIT yang memiliki nama dengan pola *h[expt]a.yyddd*, dimana *[expt]* adalah nama *experiment*, *yy* adalah dua angka terakhir pada tahun, dan *ddd* adalah *doy* dari data yang diolah. *H-files* merupakan file yang memuat nilai *adjustment* dan matriks varian-kovarian. Selain *h-files*, hasil pengolahan GAMIT adalah *q-files* dimana memuat hasil analisa program *solve* yang berisi hasil evaluasi pengolahan data serta *sh\_gamit.summary* untuk mengetahui informasi pengolahan GAMIT.

Earth orientation data																																																						
EOP time : 2015	F	1	11 59 45.000																																																			
UT1-(sec) & rate(sec/day) :		-0.32	0.79922 -0.000035																																																			
X pole(asec) & rate(asec/day) :		0.147858	0.001422																																																			
Y pole(asec) & rate(asec/day) :		0.447740	-0.000707																																																			
Delta-pole(asec) & rate(asec/day) :		1.982938	0.000000																																																			
Delta-psi(asec) & rate(asec/day) :		0.873807	0.000000																																																			
Total parameters:	260	live parameters:	98																																																			
Prefit rms:	0.38214E+00	Postfit rms:	0.24663E+00																																																			
<table><tr><th>Label (units)</th><th>a priori</th><th>adjustment</th></tr><tr><td>1*BPIC GEOC LAT rad</td><td>-0.1351963510778516</td><td>-0.14131013173769550-06</td></tr><tr><td>2*BPIC GEOC LONG rad</td><td>1.2065109659356503</td><td>-0.12351281634340800-06</td></tr><tr><td>3*BPIC RADIUS km</td><td>0.377.0065831999794244</td><td>-0.10365750610290660-02</td></tr><tr><td>4*DELS GEOC LAT rad</td><td>-0.1312087699904500</td><td>-0.13970951986288800-06</td></tr><tr><td>5*DELS GEOC LONG rad</td><td>1.9279725269933100</td><td>-0.23366321164984700-06</td></tr><tr><td>6*DELS RADIUS km</td><td>0.379.2612975008314013</td><td>-0.104483902087670460-02</td></tr><tr><td>7*GRH GEOC LAT rad</td><td>0.1304879956202680</td><td>-0.13991114154946470-06</td></tr><tr><td>8*GRH GEOC LONG rad</td><td>1.9277424659331451</td><td>-0.1901823212155927070-06</td></tr><tr><td>9*GRH RADIUS km</td><td>0.379.0197890000003360</td><td>-0.104483468581450300-02</td></tr><tr><td>10*KLAT GEOC LAT rad</td><td>-0.1305953162159458</td><td>-0.129444408257273300-06</td></tr><tr><td>11*KLAT GEOC LONG rad</td><td>1.6274877274420948</td><td>-0.19591611978724030-06</td></tr><tr><td>12*KLAT RADIUS km</td><td>0.379.6971476000001813</td><td>-0.10329061338461750-02</td></tr><tr><td>13*BPIC ATRZEN n</td><td>2.4368355355446036</td><td>0.30184728614293550-01</td></tr><tr><td>14*DELS ATRZEN n</td><td>2.0004478378536276</td><td>0.45757473899092300-02</td></tr><tr><td>15*GRH ATRZEN n</td><td>1.9061686723533634</td><td>-0.18143711668139850-01</td></tr><tr><td>16*KLAT ATRZEN n</td><td>1.9355788395375751</td><td>-0.13066261471335090-01</td></tr></table>				Label (units)	a priori	adjustment	1*BPIC GEOC LAT rad	-0.1351963510778516	-0.14131013173769550-06	2*BPIC GEOC LONG rad	1.2065109659356503	-0.12351281634340800-06	3*BPIC RADIUS km	0.377.0065831999794244	-0.10365750610290660-02	4*DELS GEOC LAT rad	-0.1312087699904500	-0.13970951986288800-06	5*DELS GEOC LONG rad	1.9279725269933100	-0.23366321164984700-06	6*DELS RADIUS km	0.379.2612975008314013	-0.104483902087670460-02	7*GRH GEOC LAT rad	0.1304879956202680	-0.13991114154946470-06	8*GRH GEOC LONG rad	1.9277424659331451	-0.1901823212155927070-06	9*GRH RADIUS km	0.379.0197890000003360	-0.104483468581450300-02	10*KLAT GEOC LAT rad	-0.1305953162159458	-0.129444408257273300-06	11*KLAT GEOC LONG rad	1.6274877274420948	-0.19591611978724030-06	12*KLAT RADIUS km	0.379.6971476000001813	-0.10329061338461750-02	13*BPIC ATRZEN n	2.4368355355446036	0.30184728614293550-01	14*DELS ATRZEN n	2.0004478378536276	0.45757473899092300-02	15*GRH ATRZEN n	1.9061686723533634	-0.18143711668139850-01	16*KLAT ATRZEN n	1.9355788395375751	-0.13066261471335090-01
Label (units)	a priori	adjustment																																																				
1*BPIC GEOC LAT rad	-0.1351963510778516	-0.14131013173769550-06																																																				
2*BPIC GEOC LONG rad	1.2065109659356503	-0.12351281634340800-06																																																				
3*BPIC RADIUS km	0.377.0065831999794244	-0.10365750610290660-02																																																				
4*DELS GEOC LAT rad	-0.1312087699904500	-0.13970951986288800-06																																																				
5*DELS GEOC LONG rad	1.9279725269933100	-0.23366321164984700-06																																																				
6*DELS RADIUS km	0.379.2612975008314013	-0.104483902087670460-02																																																				
7*GRH GEOC LAT rad	0.1304879956202680	-0.13991114154946470-06																																																				
8*GRH GEOC LONG rad	1.9277424659331451	-0.1901823212155927070-06																																																				
9*GRH RADIUS km	0.379.0197890000003360	-0.104483468581450300-02																																																				
10*KLAT GEOC LAT rad	-0.1305953162159458	-0.129444408257273300-06																																																				
11*KLAT GEOC LONG rad	1.6274877274420948	-0.19591611978724030-06																																																				
12*KLAT RADIUS km	0.379.6971476000001813	-0.10329061338461750-02																																																				
13*BPIC ATRZEN n	2.4368355355446036	0.30184728614293550-01																																																				
14*DELS ATRZEN n	2.0004478378536276	0.45757473899092300-02																																																				
15*GRH ATRZEN n	1.9061686723533634	-0.18143711668139850-01																																																				
16*KLAT ATRZEN n	1.9355788395375751	-0.13066261471335090-01																																																				
Covariance matrix:																																																						
1.	0.3995384221448490-12																																																					
2.	0.8386794562755670-14	0.35338614534117620-12																																																				
3.	-0.3469301341585040-11	0.3091232691177860-10	0.21898741450558410-04																																																			
4.	-0.3097821801997070-12	0.04963041762521210-14	0.2010356474433080-10																																																			
	0.1177246317017650-14	0.15361509257829350-12	0.242745628249651120-10																																																			
			0.8861636697290060-14																																																			
			0.132767676210287870-11																																																			

Gambar 4.2 Contoh h-files h2015a.15182

Salah satu evaluasi hasil pengolahan GAMIT menggunakan indikator nilai *fract* pada *q-file* versi “a”. Nilai *fract* di atas 10 mengindikasikan ada kesalahan kasar dan sistematis pada proses pengolahan tersebut (Artini, 2014). *Fract* merupakan hasil perbandingan antara nilai *adjust* dan nilai *formal*. Nilai *fract* digunakan untuk menganalisis apakah terdapat nilai *adjust* yang janggal dan perlu tidaknya iterasi untuk mendapatkan nilai *adjust* yang bebas dari efek non-linear. Nilai *adjust* adalah besarnya perataan yang diberikan pada tiap

stasiun. Sedangkan nilai *formal* menunjukkan ketidakpastian pada pemberian bobot untuk perhitungan kuadrat terkecil. Nilai *fract* di atas 10 hanya terdapat pada stasiun DELS pada pengolahan metode radial yaitu doy 198 (*longitude*) sebesar 17,1 dan nilai terkecil juga terdapat pada stasiun DELS metode radial yaitu doy 198 (*latitude*) sebesar -13,8. Sedangkan pengolahan pada metode jaring nilai *fract* pada seluruh stasiun berada pada nilai di bawah 10 dari doy 182 sampai doy 212. *Q-file* versi “a” mempunyai pola q[expt]a.ddd. *Q-file* memberikan informasi tentang apriori koordinat *spheris*, *adjust*, *formal*, dan *postfit* koordinat *spheris* untuk setiap stasiun pengamatan.

Tabel 4.3. Hasil pengolahan GAMIT *project* jaring dan radial doy-198 pada file q<expt>a.182

Metode Jaring						
Stasiun	Label (units)	Apriori	Adjust (m)	Formal	Fract	Postfit
DELS	LAT (dms)	S07:31:03.75152	-0,000	0,0089	-0,0	S07:31:03.75152
	LONG (dms)	E110:27:52.87973	-0,0623	0,0406	-1,5	E110:27:52.87770
	Radius (km)	6379.201298	0,0314	0,0573	0,5	6379.20132894
GRWH	LAT (dms)	S07:28:18.57996	-0,0068	0,0075	-0,9	S07:28:18.58018
	LONG (dms)	E110:27:05.42623	0,0129	0,0337	0,4	E110:27:05.42665
	Radius (km)	6379.819709	-0,0276	0,0418	-0,7	6379.81968137
KLAT	LAT (dms)	S07:28:57.21760	-0,0046	0,0047	-1,0	S07:28:57.21775
	LONG (dms)	E110:25:56.38146	-0,0324	0,0170	-1,9	E110:25:56.38040
	Radius (km)	6379.697195	-0,0001	0,0250	-0,0	6379.69719456
Metode Radial						
Stasiun	Label (units)	Apriori	Adjust (m)	Formal	Fract	Postfit
DELS	LAT (dms)	S07:31:03.74645	-0,1512	0,0109	-13,8	S07:31:03.75134

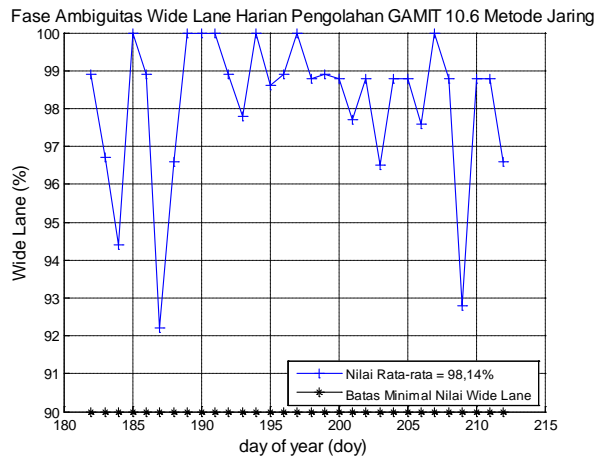
Metode Radial						
Stasiun	Label (units)	Apriori	Adjust (m)	Formal	Fract	Postfit
	LONG (dms)	E110:27:5 2.85891	0,5837	0,0342	17,1	E110:27:5 2.87795
	Radius (km)	6379.2010 239000	0,2754	0,0600	4,6	6379.2012 9930
GRWH	LAT (dms)	S07:28:18. 57976	-0,0046	0,0087	-0,5	S07:28:18. 57991
	LONG (dms)	E110:27:0 5.42677	-0,0049	0,0364	-0,1	E110:27:0 5.42661
	Radius (km)	6379.8197 127000	-0,0057	0,0474	-0,1	6379.8197 0697
KLAT	LAT (dms)	S07:28:57. 21760	-0,0019	0,0034	-0,6	S07:28:57. 21766
	LONG (dms)	E110:25:5 6.38084	0,0081	0,0090	0,9	E110:25:5 6.38110
	Radius (km)	6379.6972 042000	-0,0221	0,0194	-1,1	6379.6971 8207

Evaluasi lainnya dapat menggunakan indikator besaran nilai *postfit nrms* yang terdapat pada *sh\_gamit\_ddd.summary*. Nilai *postfit nrms* merupakan perbandingan antara nilai akar kuadrat *chi-square* dan nilai derajat kebebasan. Menurut Herring dan King (2015) dalam referensi manual GAMIT, bahwa solusi harian yang baik menghasilkan *normalized root mean square* harus kurang dari 0,3. Jika lebih besar dari 0,5 maka mengindikasikan adanya masalah seperti *cycle-slip* yang tidak bisa dihilangkan, stasiun *fixed* dengan koordinat yang jelek, dll. Nilai *postfit* tidak memiliki satuan. Pada tabel 4.4 nilai rata-rata *postfit nrms* memenuhi evaluasi solusi harian dan dapat dikategorikan baik.

Tabel 4.4. Rata rata nilai *postfit nrms* pengolahan GAMIT

Jaring	Radial		
	DELS- BPTK	GRWH- BPTK	KLAT- BPTK
0,24849	0,29123	0,29905	0,28228

Parameter evaluasi lainnya yaitu nilai ambiguitas fase yang terdapat pada file *sh\_gamit.summary*. Nilai *wide lane* (WL) adalah resolusi ambiguitas fase yang didapat dengan mengkombinasikan sinyal GPS L1 dikurangkan dengan GPS L2. Nilai WL pada GAMIT dikatakan tidak memiliki *noise* pada *pseudorange* jika resolusi ambiguitas fase WL-nya adalah melebihi 90 %. Sedangkan *narrow lane* (NL) adalah resolusi ambiguitas fase dengan mengkombinasikan sinyal GPS L1 ditambahkan dengan GPS L2. Nilai NL melebihi 80 % pada resolusi ambiguitas fase NL-nya dikatakan tidak terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer (Herring dan King, 2015). Gambar 4.3 Menunjukkan nilai WL setiap doy sepanjang waktu observasi.

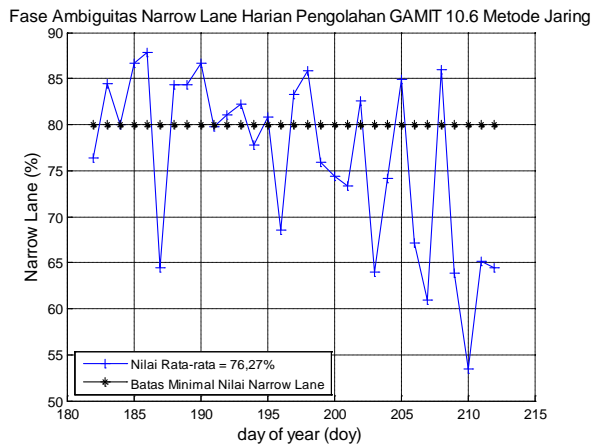


Gambar 4.3 Resolusi fase ambiguitas *wide lane* sepanjang hari pengamatan

Pada gambar 4.3 ditunjukkan bahwa nilai WL maksimal adalah 100%, nilai minimalnya adalah 92,20%

dengan nilai reratanya adalah 98,14%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengolahan data metode jaring dengan perangkat lunak GAMIT pada penelitian ini menggambarkan data GPS yang digunakan tidak memiliki *noise* pada *pseudorange*.

Sedangkan pada gambar 4.4 menunjukkan nilai NL setiap doy sepanjang waktu observasi. Nilai NL maksimal adalah 87,80%, nilai minimalnya adalah 53,50% dengan nilai reratanya adalah 76,27 %. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa doy observasi kemungkinan terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer (Herring dan King, 2015).



Gambar 4.4 Resolusi fase ambiguitas *narrow lane* sepanjang hari pengamatan

Pada metode radial dilakukan 3 kali pengolahan dengan GAMIT sehingga menghasilkan nilai *wide lane* dan *narrow lane* yang berbeda sesuai dengan pengolahan data GPS stasiun yang digunakan yang diikatkan pada titik ikat BPTK. Nilai rata-rata *wide lane* dan *narrow lane*



pada metode radial ditampilkan pada tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5. Rata rata nilai *wide lane* dan *narrow lane* pengolahan GAMIT metode radial

DELS-BPTK		GRWH-BPTK		KLAT-BPTK	
<i>Wide Lane</i>	<i>Narrow Lane</i>	<i>Wide Lane</i>	<i>Narrow Lane</i>	<i>Wide Lane</i>	<i>Narrow Lane</i>
98,24%	59,09%	95,99%	62,31%	99,34%	97,68%

Ditunjukkan pada tabel 4.5 bahwa nilai *wide lane* pada seluruh pengolahan memenuhi resolusi ambiguitas fase hasil pengolahan harian yaitu berada di atas 90 % yang menunjukkan bahwa tidak adanya *noise* pada *pseudorange* pada data GPS yang digunakan. Sedangkan nilai *narrow lane* pada pengolahan DELS-BPTK dan GRWH-BPTK masih di bawah nilai ketentuan 80%. Hal ini menunjukkan pengolahan data masih terdapat kesalahan di data DELS dan GRWH sehingga akan mempengaruhi nilai *narrow lane* secara keseluruhan jika semua data GPS diolah secara bersamaan seperti pada metode jaring.

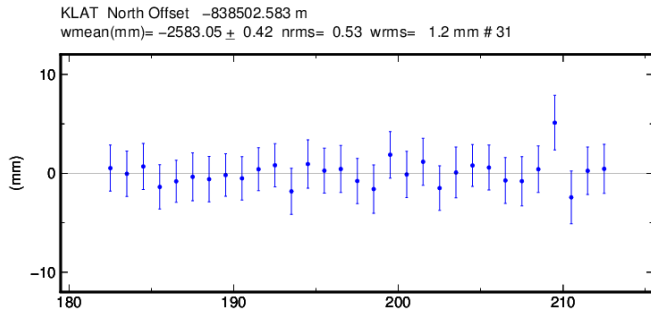
#### 4.3.2 Hasil Pengolahan Data GPS dengan GLOBK

Hasil dari pengolahan GLOBK adalah *plotting time series* dan nilai koordinat geosentrik (X,Y,Z) dan koordinat lokal dalam *northing* (N), *easting* (E), dan *up* (U) beserta standar deviasi (sigma) pada file *org-file* yang memiliki nama dengan pola *globk\_[expt]\_yyddd.org* dimana *[expt]* adalah nama *experiment*, *yy* adalah dua angka terakhir pada tahun, dan *ddd* adalah *doy* dari data yang diolah. Pada tabel 4.6 menunjukkan perbedaan koordinat metode jaring dan radial pengolahan GAMIT/GLOBK mempunyai perbedaan fraksi sentimeter sampai milimeter.

Tabel 4.6. Rata rata koordinat geosentrik pengolahan data GPS dengan GAMIT/GLOBK 10.6

Stasiun	Rata-Rata Koordinat Metode Jaring (m)	Rata-Rata Koordinat Metode Radial (m)	Selisih (m)
<b>DELS X</b>	-2211189,261	-2211189,257	0,004
<b>DELS Y</b>	5925224,163	5925224,177	0,014
<b>DELS Z</b>	-834607,604	-834607,603	0,001
<b>GRWH X</b>	-2210273,185	-2210273,159	0,026
<b>GRWH Y</b>	5926931,504	5926931,482	0,021
<b>GRWH Z</b>	-829623,368	-829623,365	0,004
<b>KLAT X</b>	-2208192,361	-2208192,35	0,010
<b>KLAT Y</b>	5927411,483	5927411,495	0,012
<b>KLAT Z</b>	-830792,319	-830792,316	0,003

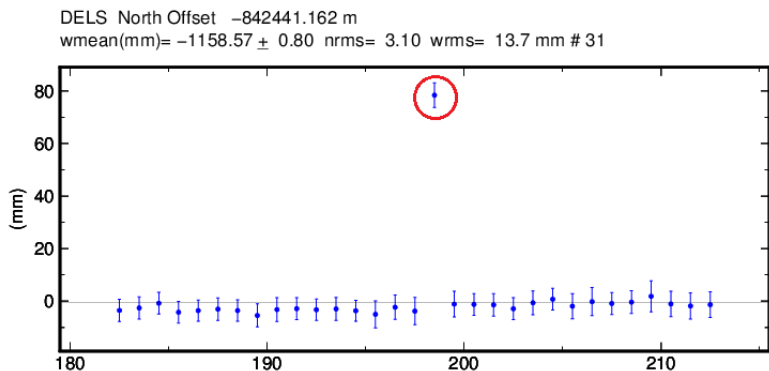
Kemudian *file plotting time series* dari perangkat lunak GMT dengan pola *file* `psbase_[expt].[site]`, dimana `[expt]` adalah nama *experiment*, dan *site* adalah nama stasiun GPS yang diolah. Berikut ini adalah contoh gambar tampilan dari *plotting time series* dari titik KLAT pengolahan jaring (`psbase_2015.KLAT`). Nilai *offset* adalah nilai koordinat awal, nilai *nrms* adalah *normalized root mean square* dan nilai *wrms* adalah *weighted root mean square*. Deteksi data hari pengamatan yang ditandai sebagai *outliers* dengan melihat *wrms plot time series* setiap stasiun. Nilai *wrms* < 10 menandakan tidak adanya *outliers* (Prasidya, 2014). Hasil *plotting time series* seluruh stasiun pada metode jaring dan radial terlampir pada lampiran.



Gambar 4.5 Contoh plotting psbase\_2015.KLAT pada pengolahan metode jaring

#### 4.4 Analisa Outliers

*Outliers* adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data. Adanya data *outliers* ini akan membuat analisa terhadap serangkaian data menjadi bias atau tidak mencerminkan fenomena yang sebenarnya. Pada perangkat lunak Topcon Tools tidak dapat mendeteksi adanya data *outliers*. Sedangkan pada perangkat lunak GAMIT/GLOBK dapat mendeteksi data yang menyimpang tersebut dengan melihat plot *time series* hasil pengolahan data dengan GLOBK.



Gambar 4.6 Contoh plotting *time series north* stasiun DELS pengolahan radial GAMIT yang terdapat data *outliers*

Pada perangkat lunak GAMIT/GLOBK data koordinat *time series* dapat dilihat pada file Val.[expt] dalam *folder* gsoln. Pada gambar 4.6 terdapat data dengan nilai yang menyimpang dari data yang lainnya pada pengolahan radial GAMIT yaitu data pada *doy* 198.

Deteksi data hari pengamatan yang ditandai sebagai *outliers* dengan melihat nilai *weighted root mean square* (wrms) plot *time series* setiap stasiun. Wrms kurang dari 10 menandakan tidak adanya *outliers*. Nilai wrms lebih besar dari 10 hanya terdapat pada stasiun DELS. Nilai wrms lebih dari 10 pada metode radial terdapat pada komponen *north* sebesar 13,7 mm, *east* sebesar 48,6 mm, dan *up* sebesar 24,6 mm sedangkan pada metode jaring terdapat pada komponen *up* sebesar 14,2 mm. Nilai wrms dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai wrms hasil pengolahan GLOBK

Stasiun	Nilai WRMS (mm)	
	Jaring	Radial
DELS N	2,2	13,7
DELS E	2,2	48,6
DELS U	12,2	24,6
GRWH N	1,6	2,0
GRWH E	2,1	1,7
GRWH U	0,8	0,8
KLAT N	1,2	1,3
KLAT E	1,1	0,9
KLAT U	0,6	0,6

Nilai wrms yang besar pada metode radial menyebabkan adanya loncatan koordinat pada *doy*-198 yang terindikasi sebagai data *outliers*. Data pada *doy*-198 merupakan data yang tidak memenuhi evaluasi pengolahan GAMIT yaitu nilai *fract* diatas 10. Penyebab data *outliers* ini kemungkinan disebabkan karena terhalangnya sinyal GPS untuk masuk ke antenna GPS sehingga perekaman data yang diterima *receiver*

GPS menjadi terganggu. Pada metode jaring tidak terlihat adanya loncatan koordinat karena data pengamatan *double difference* pada seluruh baseline saling mereduksi efek dari sebagian kesalahan dan bias. Sehingga nilai wrms pada metode jaring pada stasiun DELS yang dihasilkan menjadi lebih kecil kecuali pada komponen *up* yang masih bernilai di atas 10.

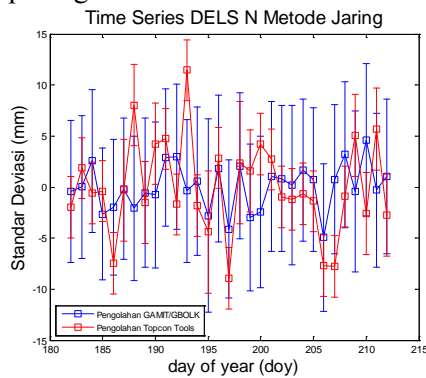
Dari indikator evaluasi pengolahan GAMIT dan nilai wrms dapat disimpulkan bahwa data pada doy-198 adalah data *outliers*. Adanya data *outliers* tersebut mempengaruhi ketelitian yang diperoleh sehingga data yang masih terdapat *outliers* harus dihilangkan agar hasil tidak menjadi bias. Untuk menghilangkan data yang *outliers* menggunakan distribusi normal dengan selang kepercayaan 95% dengan faktor pengali  $1,96\sigma$ . Menghilangkan sedikit data tidak berdampak signifikan ketika data kontinyu yang dipakai, sebab data yang dipakai masih dapat digunakan. Akan tetapi jika data yang dipakai adalah data pengukuran survei lapangan, membuang data *outliers* akan berdampak signifikan (Prasidya, 2014).

#### **4.5 Analisa Perbandingan Standar Deviasi Metode Jaring dan Radial Hasil dari Perangkat Lunak**

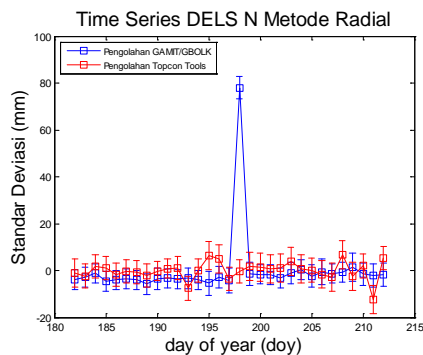
Analisa standar deviasi digunakan untuk menentukan rata-rata jarak penyimpangan titik-titik data diukur dari nilai rata-rata data tersebut. Berdasarkan data pengamatan penelitian ini pengolahan dibagi menjadi dua metode yaitu metode jaring dan metode radial. Kedua metode tersebut diolah menggunakan perangkat lunak komersil (Topcon Tools) dan perangkat lunak ilmiah (GAMIT/GLOBK). Kedua perangkat lunak tersebut menghasilkan koordinat geosentrik dan standar deviasi dari titik titik pengamatan stasiun GPS CORS yang diikatkan dengan *base* stasiun GPS CORS BPTK. Koordinat geosentrik tersebut ditransformasikan ke bentuk koordinat toposentrik (lokal) dengan menggunakan perangkat lunak

matlab berdasarkan persamaan (2.10).

Hasil pengolahan dari 2 metode menggunakan 2 perangkat lunak pengolah data GPS didapat nilai koordinat dan standar deviasi yang berbeda-beda. Hasil perbandingan pengolahan data GPS ditampilkan dalam *plotting time series* pada gambar di bawah ini. Titik tengah (kotak) menandakan selisih posisi koordinat tiap *day* terhadap koordinat rata-rata. Sedangkan panjang garis menandakan besar standar deviasi hasil dari pengolahan perangkat lunak.

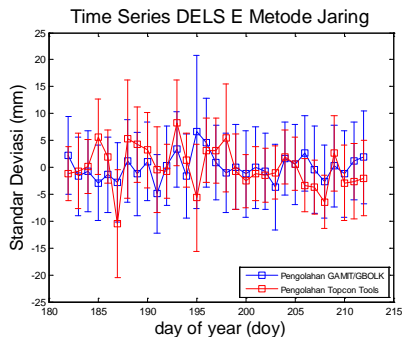


Gambar 4.7. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun DELS - north metode jaring

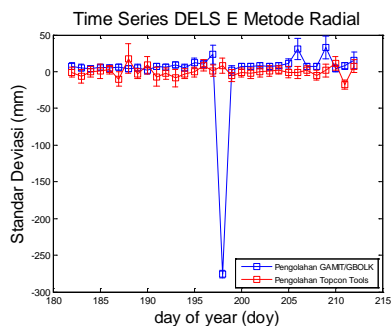


Gambar 4.8. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun DELS - north metode radial

Pada komponen *north* stasiun DELS, standar deviasi/doy metode jaring pengolahan dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai dengan rata-rata 7,2 mm lebih besar daripada standar deviasi/doy pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 3,5 mm. Pada metode radial pengolahan dengan GAMIT/GLOBK terdapat nilai *outliers* pada doy 198 dengan melihat grafik *time series*. Standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 4,4 mm lebih kecil daripada standar deviasi/doy Topcon Tools dengan nilai rerata 5,3 mm.

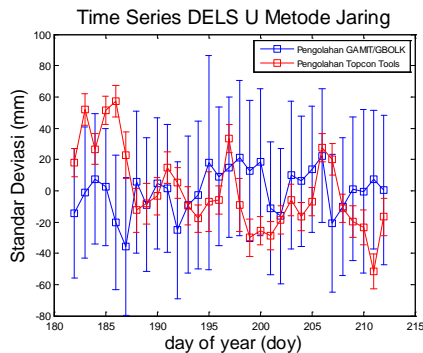


Gambar 4.9. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun DELS - *east* metode jaring

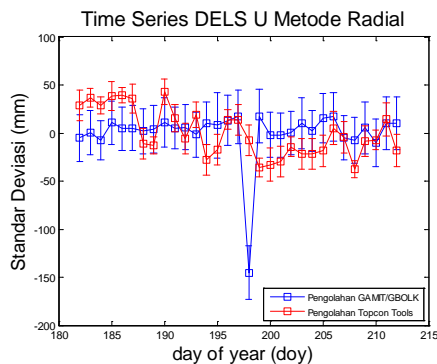


Gambar 4.10. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun DELS – *east* metode radial

Pada komponen *east* stasiun DELS, standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai dengan rata rata 7,7 mm lebih besar dari pada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 6,5 mm. Pada metode radial pengolahan dengan GAMIT/GLOBK terdapat nilai *outliers* pada doy 198 dengan melihat grafik *time series*. Standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 5,7 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 8,5 mm.



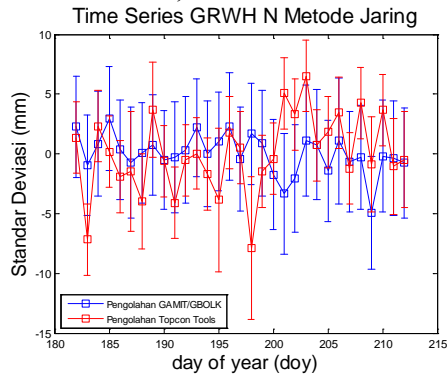
Gambar 4.11. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun DELS - up metode jaring



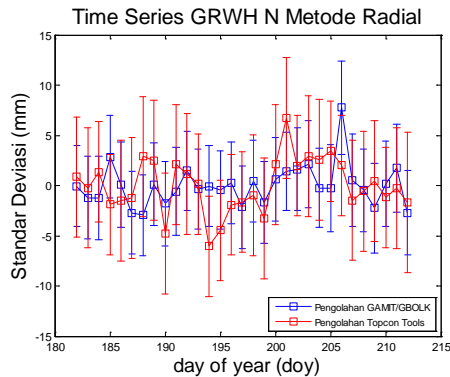
Gambar 4.12. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun DELS - up metode radial



Pada komponen *up* stasiun DELS, Standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai dengan rata-rata 44,8 mm lebih besar daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 10,8 mm. Pada metode radial pengolahan dengan GAMIT/GLOBK terdapat nilai *outliers* pada doy 198 dengan melihat grafik *time series*. Standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 24,6 mm lebih besar daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 13,9 mm.

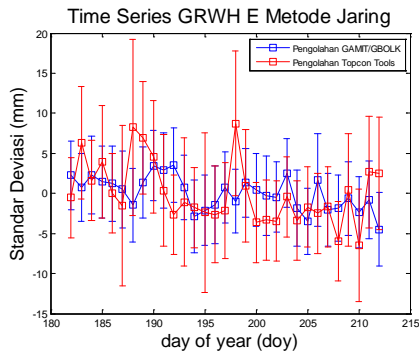


Gambar 4.13. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun GRWH - *north* metode jaring

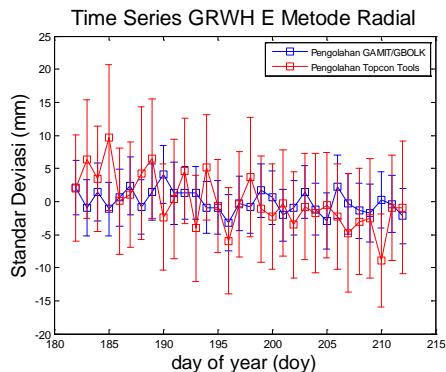


Gambar 4.14. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun GRWH - *north* metode radial

Pada komponen *north* stasiun GRWH, standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai dengan rata-rata 4,4 mm lebih besar daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 3,4 mm. Sedangkan standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 4,1 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 5,6 mm.

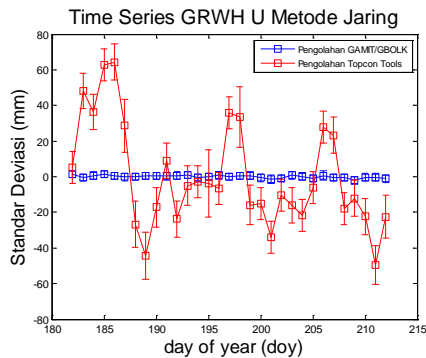


Gambar 4.15. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun GRWH - east metode jaring

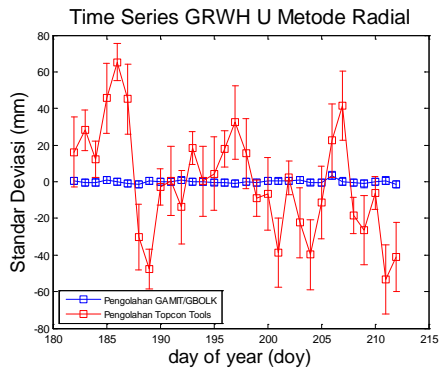


Gambar 4.16. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun GRWH - east metode radial

Pada komponen *east* stasiun GRWH, standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai dengan rata-rata 4,5 mm lebih kecil daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 6,4 mm. Sedangkan standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 4,2 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 8,3 mm.

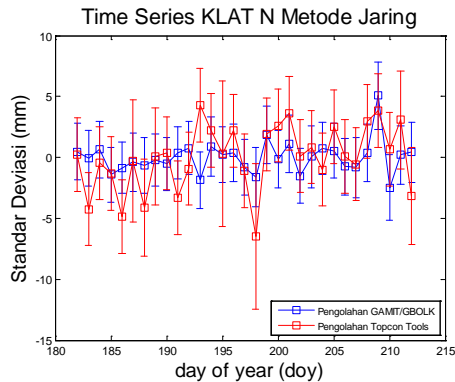


Gambar 4.17. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun GRWH - up metode jaring

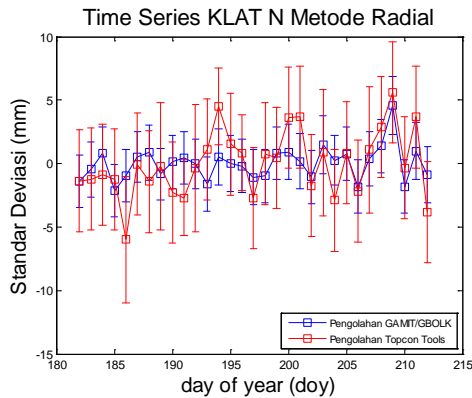


Gambar 4.18. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun GRWH - up metode radial

Pada komponen *up* stasiun GRWH, Standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai dengan rata rata 1,9 mm lebih kecil daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 10,6 mm. Sedangkan standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 2,1 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 15,9 mm.

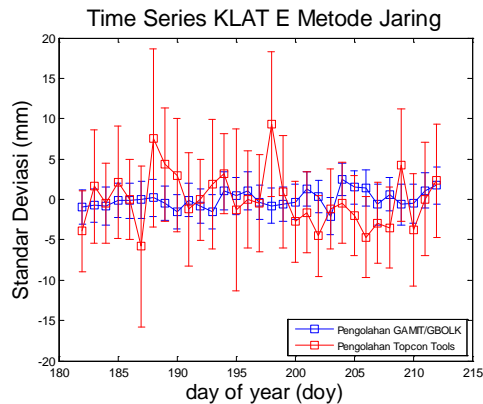


Gambar 4.19. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun KLAT - north metode jaring

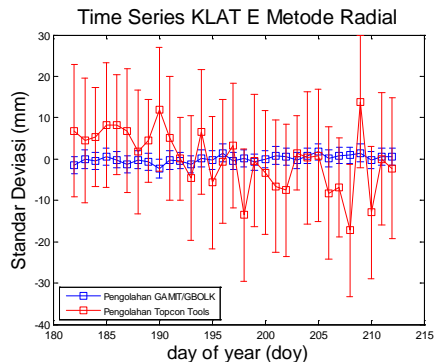


Gambar 4.20. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun KLAT - north metode radial

Pada komponen *north* stasiun KLAT, standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK dengan rata rata 2,3 mm lebih kecil daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 3,3 mm. Sedangkan standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 2,1 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 4 mm.

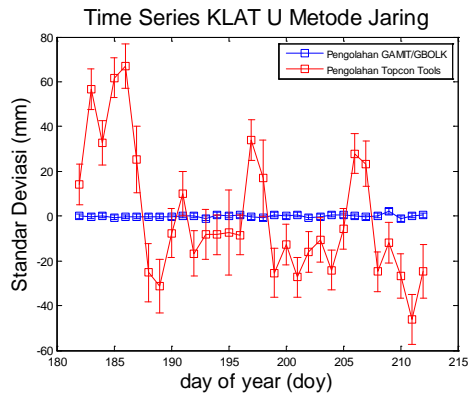


Gambar 4.21. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun KLAT- *east* metode jaring

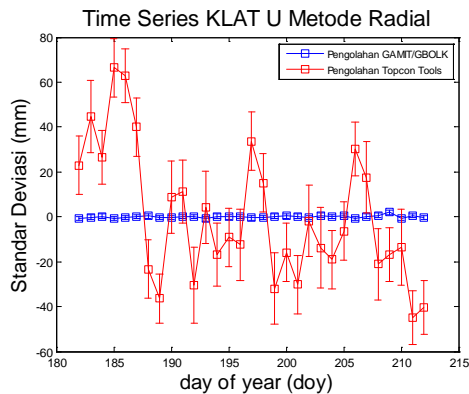


Gambar 4.22. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun KLAT- *east* metode radial

Pada komponen *east* stasiun KLAT, standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK dengan rata-rata 2,2 mm lebih kecil daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 6,4 mm. Sedangkan standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 2,07 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 14,6 mm.



Gambar 4.23. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun KLAT - up metode jaring



Gambar 4.24. *Time series coordinate repeatabilities* stasiun KLAT - up metode radial

Pada komponen *up* stasiun KLAT, standar deviasi/doy pengolahan metode jaring dengan GAMIT/GLOBK dengan rata-rata 1 mm lebih kecil daripada standar deviasi pengolahan Topcon Tools dengan nilai rata-rata 10,5 mm. Sedangkan standar deviasi/doy metode radial dengan GAMIT/GLOBK mempunyai nilai rerata 1 mm lebih kecil daripada standar deviasi Topcon Tools dengan nilai rerata 14 mm.

Dari *time series coordinate repeatabilities* keseluruhan stasiun dapat disimpulkan pada metode jaring pengolahan data GPS menggunakan GAMIT/GLOBK menghasilkan nilai rata-rata standar deviasi per-doy lebih kecil daripada Topcon Tools kecuali pada stasiun DELS (*north, east, up*) dan stasiun GRWH (*north*). Sedangkan pada metode radial pengolahan data GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK menghasilkan nilai rata-rata standar deviasi per-doy lebih kecil daripada menggunakan perangkat lunak Topcon Tools kecuali pada stasiun DELS (*up*).

Secara keseluruhan pengolahan data GPS menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK mempunyai pola koordinat yang relatif lebih presisi mendekati nilai rata-rata daripada perangkat lunak Topcon Tools. Pola koordinat yang relatif presisi mendekati nilai rata-rata menyebabkan nilai standar deviasi stasiun menjadi lebih kecil pada waktu pengamatan tersebut. Adanya data *outliers* pada *time series coordinate repeatabilities* berakibat standar deviasi titik pengamatan menjadi lebih besar. Standar deviasi digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan ketelitian posisi.

Perbedaan pola koordinat yang dihasilkan dari dua perangkat lunak ilmiah dan komersil terlihat jelas pada komponen *up* stasiun GRWH dan KLAT. Pada gambar 4.17 dan 4.23 hasil koordinat pengolahan GAMIT yang dihasilkan jauh lebih presisi mendekati rata-rata dan mempunyai nilai standar deviasi yang kecil dibandingkan dengan pengolahan Topcon. Hal ini dikarenakan pada pengolahan GAMIT

terdapat beberapa pilihan dalam mengestimasi efek dari kesalahan dan bias yang didukung oleh beberapa data sekunder GAMIT seperti file atmosfer, gelombang pasang surut dan pemodelan cuaca.

#### 4.6 Analisa Perbandingan Standar Deviasi Titik Pengamatan Stasiun GPS CORS

Standar deviasi adalah akar kuadrat dari variansi dan menunjukkan standar penyimpangan data terhadap nilai rata-ratanya. Parameter standar deviasi yang dihasilkan dari perangkat lunak GAMIT/GLOBK dan Topcon Tools adalah koordinat lokal *north, east, up*. Koordinat lokal ini merupakan hasil transformasi koordinat dari koordinat geosentrik dengan *coding* matlab. Rumus standar deviasi menurut Ghilani dan Wolf (2006) untuk data populasi ( $n > 30$ ) berdasarkan persamaan (2.1) adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n}}$$

Hasil dari standar deviasi titik pengamatan stasiun GPS CORS Merapi pada bulan Juli 2015 yang diolah menggunakan perangkat lunak ilmiah dan komersil dengan metode jaring dan radial ditampilkan pada tabel 4.8 sebagai berikut.

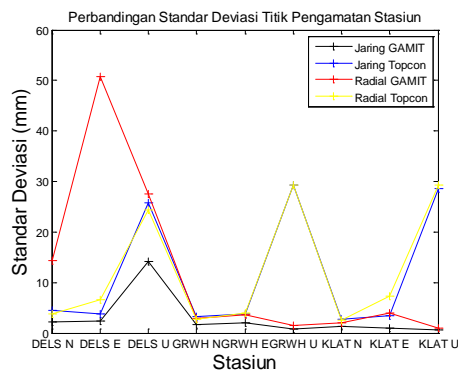
Tabel 4.8 Standar deviasi titik pengamatan stasiun GPS CORS Merapi

Stasiun	Jaring (m)		Radial (m)	
	GAMIT GLOBK	Topcon Tools	GAMIT GLOBK	Topcon Tools
<b>DELS N</b>	0,00220	0,00456	0,01433	0,00370
<b>DELS E</b>	0,00237	0,00386	0,05080	0,00667
<b>DELS U</b>	0,01411	0,02581	0,02757	0,02444
<b>Rata-Rata DELS</b>	0,00623	0,01141	0,03090	0,01160
<b>GRWH N</b>	0,00162	0,00325	0,00290	0,00266



Stasiun	Jaring (m)		Radial (m)	
	GAMIT GLOBK	Topcon Tools	GAMIT GLOBK	Topcon Tools
GRWH E	0,00205	0,00383	0,00362	0,00393
GRWH U	0,00079	0,02922	0,00147	0,02931
Rata-Rata GRWH	0,00149	0,01210	0,00266	0,01197
KLAT N	0,00132	0,00266	0,00204	0,00255
KLAT E	0,00104	0,00342	0,00397	0,00730
KLAT U	0,00058	0,02856	0,00100	0,02934
Rata-Rata KLAT	0,00098	0,01155	0,00234	0,01306

Pada tabel 4.8 dapat diketahui bahwa standar deviasi paling kecil dihasilkan dari metode jaring menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK menghasilkan orde sampai milimeter. Pada stasiun DELS (*north, east, up*) pengolahan data GPS menggunakan GAMIT/GLOBK metode radial mempunyai standar deviasi paling besar. Hal ini akibat pengaruh dari adanya data yang menyimpang terlalu jauh (*outliers*) pada doy ke-198. Adanya *outliers* sangat berpengaruh terhadap nilai dari standar deviasi yang dihasilkan.

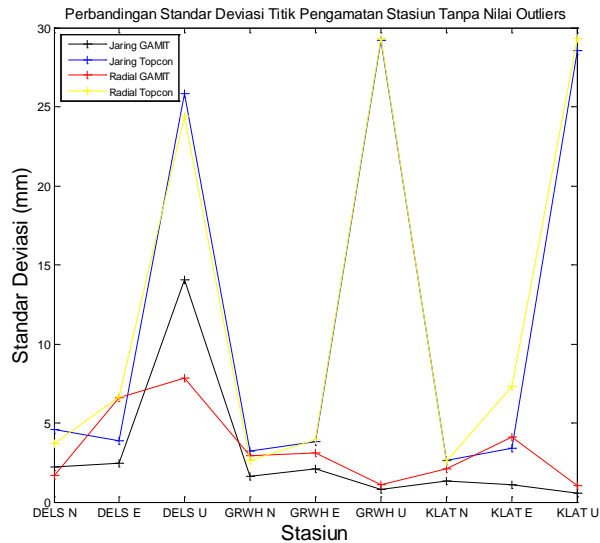


Gambar 4.25. Grafik perbandingan standar deviasi titik pengamatan stasiun

Apabila data *outliers* pada pengolahan GAMIT/GLOBK tersebut dihilangkan yaitu data doy-198, maka standar deviasi yang dihasilkan ditampilkan pada tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Standar deviasi titik pengamatan stasiun GPS CORS  
Merapi tanpa data *outliers*

Stasiun	Jaring (m)			Radial (m)		
	GAMIT GLOBK	Topcon Tools	Selisih	GAMIT GLOBK	Topcon Tools	Selisih
<b>DELS N</b>	0,00225	0,00456	0,00231	0,00167	0,00370	0,00203
<b>DELS E</b>	0,00244	0,00386	0,00142	0,00658	0,00667	0,00009
<b>DELS U</b>	0,01404	0,02581	0,01177	0,00784	0,02444	0,01660
<b>Rata-Rata DELS</b>	0,00624	0,01141	0,00517	0,00537	0,01160	0,00623
<b>GRWH N</b>	0,00164	0,00325	0,00161	0,00294	0,00266	0,00028
<b>GRWH E</b>	0,00211	0,00383	0,00172	0,00310	0,00393	0,00083
<b>GRWH U</b>	0,00081	0,02922	0,02841	0,00112	0,02931	0,02819
<b>Rata-Rata GRWH</b>	0,00152	0,01210	0,01058	0,00239	0,01197	0,00958
<b>KLAT N</b>	0,00133	0,00266	0,00133	0,00210	0,00255	0,00045
<b>KLAT E</b>	0,00107	0,00342	0,00235	0,00409	0,00730	0,00321
<b>KLAT U</b>	0,00059	0,02856	0,02797	0,00104	0,02934	0,02830
<b>Rata-Rata KLAT</b>	0,00100	0,01155	0,0145	0,00241	0,01306	0,01065



Gambar 4.26. Grafik perbandingan standar deviasi titik pengamatan stasiun tanpa data *outliers*

Dari gambar 4.26 dapat ditunjukkan bahwa standar deviasi paling kecil dihasilkan dengan pengolahan jaring GAMIT diikuti oleh pengolahan radial GAMIT, jaring Topcon, dan standar deviasi paling besar dihasilkan dengan pengolahan radial Topcon. Dari perbedaan gambar 4.25 dan 4.26 terlihat perbedaan standar deviasi yang signifikan pada pengolahan radial GAMIT. Hal ini disebabkan karena pada pengolahan radial GAMIT doy 198 merupakan data *outliers* dan data yang tidak memenuhi evaluasi pengolahan GAMIT. Data yang terindikasi *outliers* harus dihilangkan agar hasil tidak menjadi bias.

Tabel 4.10 Rata-rata standar deviasi metode jaring dan radial dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah dan komersil

$\bar{\sigma}$ (m)	Rata-Rata Standar Deviasi Pengolahan GAMIT/GLOBK (m)		Rata Rata Standar Deviasi Pengolahan Topcon Tools (m)	
	Jaring	Radial	Jaring	Radial
$\bar{\sigma}_n$	0,00174	0,00224	0,00349	0,00297
$\bar{\sigma}_e$	0,00187	0,00459	0,00370	0,00597
$\bar{\sigma}_u$	0,00515	0,00333	0,02786	0,02769
$\bar{\sigma}$	0,00292	0,00339	0,01169	0,01221

Pada tabel 4.10 menunjukkan konfigurasi jaring pada pengolahan data GPS dapat disimpulkan bahwa standar deviasi metode jaring menggunakan perangkat lunak baik dari GAMIT/GLOBK maupun Topcon Tools menghasilkan standar deviasi yang lebih kecil daripada metode radial. Hal ini dikarenakan pada metode jaring geometri untuk penentuan posisi relatif lebih kuat daripada metode radial yang berpengaruh pada ketelitian posisi yang diperoleh (Abidin, 2011).

#### 4.7 Uji Statistik

Pada uji statistik ini digunakan untuk mengetahui adanya persamaan atau perbedaan pada hasil pengolahan dengan 2 metode dan 2 perangkat lunak. Uji ini dilakukan dengan membandingkan variansi dari kedua pengolahan. F hitung pada uji ini dihitung berdasarkan persamaan (2.11) sebagai berikut.

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \text{ atau } F = \frac{s_2^2}{s_1^2} \quad F = \frac{\text{large sample variance}}{\text{small sample variance}}$$

Sedangkan F tabel pada uji statistik ini dihitung berdasarkan persamaan (2.12) sebagai berikut.

$$F_{\alpha/2, v1, v2} = \frac{1}{F_{1-\alpha, v2, v1}}$$

Uji statistik yang digunakan untuk menentukan penolakan dari hipotesis nol. Hipotesa nol yang digunakan pada uji statistik ini adalah metode pengolahan tidak terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan, sehingga:

Hipotesa nol  $H_0 : dV = 0$

Hipotesa alternatif  $H_0 : dV \neq 0$

Apabila dari uji hipotesis 0 menunjukan  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , maka tidak terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan. Sebaliknya apabila dari uji hipotesis alternatif menunjukan  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan.

Adapun hasil dari hitung nilai rata-rata standar deviasi dan variansi tanpa mengikut-sertakan data *outliers* dapat dilihat pada tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.11 Hasil hitungan rata-rata standar deviasi dan variansi

No.	Perangkat Lunak	Metode	Rata-Rata (m)	Variansi (m <sup>2</sup> )
1	GAMIT/GLOBK	Jaring	0,00292	0,00000853
2	GAMIT/GLOBK	Radial	0,00339	0,00001147
3	Topcon Tools	Jaring	0,01169	0,00013654
4	Topcon Tools	Radial	0,01221	0,00014911

Pada uji statistik ini dihitung dan dianalisa menggunakan selang kepercayaan 95% dan derajat kebebasan 30. Sehingga  $1 - \alpha = 1 - 0,95 = 0,05$

$$F_{\alpha/2, v1, v2} = F_{0.025, 30, 30} = 2,07$$

Pada tabel distribusi F, diperoleh nilai 2,07. Apabila  $F_{hitung} < 2,07$  maka hasil uji yang diperoleh adalah tidak signifikan, sebaliknya jika  $F_{hitung} > 2,07$  maka hasil uji yang diperoleh adalah signifikan. Hasil uji statistik ditampilkan pada tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12 Hasil hitungan uji statistik perbandingan 2 perangkat lunak dan 2 metode

			F Hitung	F Tabel	Hasil Uji
Antara Perangkat Lunak	Jaring GAMIT	Jaring Topcon	16,01	2,07	Signifikan
	Radial GAMIT	Radial Topcon	13,00		Signifikan
Antar Metode	Jaring GAMIT	Radial GAMIT	1,35		Tidak Signifikan
	Jaring Topcon	Radial Topcon	1,09		Tidak Signifikan
Antar Perangkat Lunak & Metode	Jaring GAMIT	Radial Topcon	17,49		Signifikan
	Jaring Topcon	Radial GAMIT	11,90		Signifikan

Pada tabel 4.13 dilakukan uji statistik untuk mengetahui bagaimana signifikansi perbedaan ketelitian pengolahan GAMIT/GLOBK sebelum dan sesudah dihilangkan *outliers*.

Tabel 4.13 Hasil hitungan uji statistik pengolahan data GAMIT/GLOBK sebelum dan sesudah menghilangkan data *outliers*

	F Hitung	F Tabel	Hasil Uji
Jaring GAMIT	1,01	2,07	Tidak Signifikan
Radial GAMIT	12,48		Signifikan

Pada tabel 4.13 dapat diketahui pengolahan radial GAMIT terdapat perbedaan ketelitian secara signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh adanya *outliers* yang terdeteksi di stasiun DELS pada doy-198. Salah satu indikator adanya *outliers* adalah nilai wrms yang lebih dari 10. Pada doy-198 pengolahan radial GAMIT juga tidak memenuhi evaluasi hasil

pengolahan GAMIT yang ditetapkan yaitu nilai *fract* harus lebih kecil dari 10. Nilai *fract* di atas 10 mengindikasikan ada kesalahan kasar dan sistematis pada proses pengolahan tersebut. Data yang terindikasi *outliers* harus dihilangkan agar dapat memberikan ketelitian posisi sampai spektrum yang sangat teliti (sampai orde milimeter) hasil dari strategi pengolahan *post-processing*.

Hasil dari uji statistik dengan tidak mengikutsertakan data *outliers* pada tabel 4.12 dapat diambil kesimpulan bahwa pengolahan data GPS CORS dengan perangkat lunak ilmiah dan komersil terjadi perbedaan ketelitian yang signifikan. Rata-rata nilai standar deviasi hasil pengolahan dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK 10.6 adalah 3,155 mm sedangkan nilai rata-rata standar deviasi hasil pengolahan dengan perangkat lunak Topcon Tools adalah 1,195 cm. Sehingga perangkat lunak GAMIT/GLOBK memberikan tingkat hasil pengolahan data yang lebih presisi daripada Topcon Tools yaitu mencapai orde sampai milimeter sedangkan Topcon Tools mencapai orde sampai sentimeter. Hal ini karena perangkat lunak ilmiah mempunyai banyak pilihan dalam strategi pemodelan dan pengestimasi kesalahan dan bias sehingga menghasilkan ketelitian yang tinggi daripada perangkat lunak komersil (Abidin, 2011).

Sedangkan antara metode jaring dan radial tidak terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan. Pada pengolahan GAMIT/GLOBK selisih standar deviasi antara metode jaring dan radial adalah 0,47 mm sedangkan pada pengolahan Topcon Tools selisih rata-rata standar deviasi antara metode jaring dan radial adalah 0,52 mm. Selisih rata-rata standar deviasi yang diberikan antara kedua perangkat lunak tersebut tidak jauh berbeda yaitu di bawah 1 milimeter. Perbedaan yang tidak signifikan tersebut disebabkan karena data yang digunakan adalah data GPS CORS yang secara kontinyu sudah memberikan tingkat presisi yang tinggi. Hal ini juga didukung oleh semakin berkembangnya teknologi *receiver*,

perangkat lunak pengolahan data GPS, serta semakin banyaknya jumlah satelit, ketelitian posisi dengan menggunakan metode radial mungkin akan menyamai ketelitian dengan metode jaring tertutup. Menurut penelitian sebelumnya Nathania (2013) juga menerangkan bahwa hasil pengolahan yang didapatkan, metode jaring tertutup lebih teliti daripada radial namun dengan level perbedaan hanya dalam milimeter sampai sentimeter, untuk kegiatan survei GPS yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi dapat saja menggunakan metode pengamatan radial.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa tugas akhir yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi dengan GAMIT/GLOBK memberikan tingkat hasil pengolahan data yang lebih presisi daripada pengolahan Topcon Tools. Selisih standar deviasi titik pengamatan stasiun GPS CORS Merapi yang dihasilkan antara perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK dengan perangkat lunak komersil Topcon Tools adalah sebagai berikut:
  - i. Metode jaring tertutup
    - DELS : (2,31 *north*, 1,42 *east*, 11,77 *up*) mm
    - GRWH : (1,61 *north*, 1,72 *east*, 28,41 *up*) mm
    - KLAT : (1,33 *north*, 2,35 *east*, 27,97 *up*) mm
  - ii. Metode radial
    - DELS : (2,03 *north*, 0,09 *east*, 16,60 *up*) mm
    - GRWH : (0,28 *north*, 0,83 *east*, 28,19 *up*) mm
    - KLAT : (0,45 *north*, 3,21 *east*, 28,30 *up*) mm
2. Dari uji statistik ketelitian yang dihasilkan dari pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK dan komersil Topcon Tools memiliki perbedaan ketelitian yang signifikan. Rata-rata nilai standar deviasi hasil pengolahan dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK 10.6 adalah 3,155 mm sedangkan nilai rata-rata standar deviasi hasil pengolahan dengan perangkat lunak Topcon Tools adalah 1,195 cm. Perangkat lunak ilmiah mempunyai kelebihan dalam model matematik yang lebih lengkap dimana parameter-paramater yang berpengaruh kecil dimasukkan dalam perhitungan sedangkan dalam perangkat lunak komersil diabaikan sehingga perangkat lunak ilmiah sangat direkomendasikan untuk pengolahan

data GPS yang memerlukan ketelitian tinggi (sampai orde milimeter).

3. Ketelitian yang dihasilkan dari pengolahan data GPS CORS Gunung Merapi menggunakan konfigurasi jaring tertutup dan radial tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Selisih rata-rata standar deviasi pada pengolahan GAMIT/GLOBK antara metode jaring dan radial adalah 0,47 mm sedangkan pada pengolahan Topcon Tools selisih rata-rata standar deviasi antara metode jaring dan radial adalah 0,52 mm.

## 5.2 Saran

Dari beberapa kesimpulan di atas, dapat dikemukakan saran-saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Proses pengolahan dengan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK secara *automatic batch* akan terhenti apabila ada kekosongan data pada doy, sehingga perlu diperhatikan dalam kelengkapan ketersediaan data.
2. Data pengamatan GPS yang digunakan sebaiknya dikaitkan dengan *event* Gunung Merapi sehingga dapat membedakan data *outliers* dengan pola pergeseran titik tanah melalui *time series*.
3. Perlu ditambahkan perangkat lunak pengolahan GPS pembanding lainnya terutama perangkat lunak ilmiah untuk memberi gambaran ketelitian dari *software* yang memberikan tingkat kepresisian yang tinggi (sampai orde milimeter).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., Hendrasto, M., Andreas, H., Gamal, M., Kusuma, M.A., Rosadi, U., Mulyana, I., Mulyadi, D., Suganda, O. K., Purwanto., B. H., & Kimata., F.. 2007. "*Karakteristik Deformasi Gunungapi Ijen dalam Periode 2002-2005 Hasil Estimasi Metode Survei GPS*". Prosiding ITB Sains & Tek, 1-22.
- Abidin, H. Z., Jones, A., dan Kahar, J. 2011. *Survei Dengan GPS*. Cetakan Ketiga. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Agung, S. P. 2013. *Studi Kinerja Perangkat Lunak Leica Geo Office 8.1 Untuk Pengolahan Data GPS Baseline Panjang*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.
- Anjasmaras, I. M., dan Hapsari, H. 2014. *Bahan ajar: Sistem Transformasi Koordinat*. Surabaya: Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Artini, S. R. 2014. "*Penentuan Koordinat Stasiun GNSS CORS GMUI dengan Kombinasi Titik Ikat GPS Global dan Regional*". Jurnal Teknik Sipil, 37-44.
- Badan Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi. 2014. *Karakteristik Gunung Merapi*. <url: <http://www.merapi.bgl.esdm.go.id>>. Dikunjungi pada 20 Maret 2016, Jam 09.00 WIB.
- El-Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS The Global Positioning System*. Boston: Artech House.
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A., dan McClusky, S.C. 2015. *Introduction to GAMIT/GLOBK Release 10.6*. Massachusetts: Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A., dan McClusky, S.C. 2015. *GAMIT Reference Manual Release 10.6*.

- Massachusetts: Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A., dan McClusky, S.C. 2015. *GLOBK Reference Manual Release 10.6*. Massachusetts: Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Hofman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., dan Collins, J. 2000. *GPS Theory and Practice*. Austria: Springer-Verlag Wien New York.
- Kaniuth, K., dan Volksen, C. 2001. "*Comparison of the Bernese and Gipsy/Oasis II Software Systems Using EUREF Data*". 314-319.
- Kaplan, E. D., dan Hegarty, C. J. 2006. *Understanding GPS Principles and Applications*. Cetakan Kedua. Boston:London.
- Kuang, Shanlong. 1996. *Geodetic Network Analysis & Optimal Design*. Michigan: Ann Arbor Press, Inc.
- Mikhail, Edward M., dan Gracie, Gordon. 1981. *Analysis And Adjusment of Survey Measurements*. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Nathania, Clara. 2013. *Kajian Pengaruh Penggunaan Metode Survei GPS Jaring Tertutup dan Radial Terhadap Ketelitian Posisi*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.
- NOAA, 2006. *Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS)*. National Ocean Survey (NOAA).
- Prasidya, S. A. 2014. *Tutorial GAMIT/GLOBK: Sistem Tranformasi Koordinat*. Yogyakarta: Universitas Gajahmada.
- Rahadi, M. E., Awaluddin, M., dan Sabri, I. M. 2013. "*Analisis Ketelitian Pengukuran Baseline Panjang GNSS Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.4 dan Topcon Tools V. 7*". Jurnal Geodesi Undip, 194-209.

- Rudianto, B., Rinaldy, dan Afandi, M. R. 2013. "*Perbandingan Hasil Pengolahan Data GPS Menggunakan Hitung Perataan Simultan dan Secara Bertahap*". Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 90-96.
- Santoso, S. 2008. *Panduan Lengkap Menguasai SPSS 16*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Seeber, G. 2002. *Satellite Geodesy*. Cetakan Kedua. Hannover: Germany.
- Topcon. 2009. *Topcon Tools Reference Manual*. Livermore: National Drive.
- Wahyunto, dan Wasito. 2013. "*Lintasan Sejarah Erupsi Gunung Merapi*". Pengembangan Pertanian Berbasis Inovasi di Wilayah Bencana Erupsi Gunung Merapi. Balitbang Kementerian Pertanian RI.
- Wolf, P. R., dan Ghilani, C. D. 1997. *Adjustment Computations: Statistics and Least Square in Surveying and GIS*. New York: John Willey & Sons Inc.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 1

### Koordinat Toposentrik dari Transformasi Matlab Pengolahan Data Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK 10.6

#### 1. Metode Jaring Tertutup

Day of Year	Stasiun DELS			Stasiun GRWH			Stasiun KLAT		
	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	Z (m)	N (m)	E (m)	U (m)
182	25450,559	8863,922	1234,952	30562,558	7410,518	1828,203	29367,122	5292,814	1714,481
183	25450,558	8863,918	1234,964	30562,554	7410,516	1828,201	29367,120	5292,814	1714,480
184	25450,562	8863,919	1234,973	30562,556	7410,519	1828,201	29367,122	5292,815	1714,480
185	25450,556	8863,917	1234,968	30562,558	7410,518	1828,202	29367,119	5292,815	1714,480
186	25450,556	8863,919	1234,945	30562,555	7410,517	1828,201	29367,119	5292,815	1714,480
187	25450,558	8863,917	1234,930	30562,554	7410,516	1828,201	29367,120	5292,815	1714,480
188	25450,556	8863,921	1234,971	30562,555	7410,514	1828,200	29367,119	5292,815	1714,480
189	25450,558	8863,919	1234,957	30562,556	7410,517	1828,201	29367,120	5292,815	1714,480
190	25450,557	8863,921	1234,970	30562,554	7410,519	1828,201	29367,119	5292,813	1714,479
191	25450,561	8863,915	1234,967	30562,555	7410,519	1828,201	29367,121	5292,815	1714,480
192	25450,562	8863,920	1234,941	30562,556	7410,520	1828,202	29367,122	5292,814	1714,481
193	25450,557	8863,923	1234,956	30562,556	7410,517	1828,202	29367,118	5292,813	1714,479
194	25450,559	8863,918	1234,963	30562,555	7410,513	1828,201	29367,122	5292,816	1714,481
195	25450,556	8863,927	1234,984	30562,556	7410,514	1828,201	29367,121	5292,816	1714,480



Day of Year	Stasiun DELS			Stasiun GRWH			Stasiun KLAT		
	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	Z (m)	N (m)	E (m)	U (m)
196	25450,561	8863,925	1234,975	30562,558	7410,515	1828,202	29367,122	5292,816	1714,481
197	25450,554	8863,921	1234,980	30562,554	7410,517	1828,200	29367,119	5292,815	1714,479
198	25450,560	8863,919	1234,986	30562,556	7410,515	1828,201	29367,118	5292,814	1714,479
199	25450,557	8863,920	1234,979	30562,557	7410,518	1828,202	29367,124	5292,815	1714,481
200	25450,555	8863,918	1234,984	30562,553	7410,516	1828,200	29367,120	5292,815	1714,480
201	25450,559	8863,920	1234,954	30562,551	7410,516	1828,199	29367,121	5292,816	1714,481
202	25450,558	8863,919	1234,949	30562,551	7410,515	1828,199	29367,117	5292,815	1714,479
203	25450,559	8863,916	1234,976	30562,556	7410,518	1828,202	29367,121	5292,813	1714,480
204	25450,561	8863,922	1234,972	30562,556	7410,514	1828,201	29367,122	5292,818	1714,481
205	25450,559	8863,920	1234,979	30562,553	7410,512	1828,200	29367,121	5292,817	1714,480
206	25450,553	8863,922	1234,988	30562,556	7410,518	1828,201	29367,120	5292,817	1714,480
207	25450,558	8863,919	1234,944	30562,553	7410,514	1828,200	29367,119	5292,814	1714,479
208	25450,562	8863,917	1234,955	30562,555	7410,514	1828,200	29367,121	5292,816	1714,480
209	25450,559	8863,920	1234,967	30562,551	7410,515	1828,199	29367,127	5292,815	1714,483
210	25450,561	8863,918	1234,964	30562,553	7410,513	1828,200	29367,116	5292,814	1714,478
211	25450,558	8863,921	1234,973	30562,555	7410,515	1828,201	29367,121	5292,816	1714,480
212	25450,559	8863,922	1234,966	30562,554	7410,511	1828,200	29367,121	5292,817	1714,481

## 2. Metode Radial

Day of Year	Stasiun DELS			Stasiun GRWH			Stasiun KLAT		
	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)
182	25450,555	8863,918	1234,964	30562,555	7410,501	1828,171	29367,121	5292,800	1714,486
183	25450,557	8863,914	1234,975	30562,554	7410,499	1828,170	29367,123	5292,801	1714,486
184	25450,561	8863,912	1234,959	30562,554	7410,501	1828,170	29367,125	5292,801	1714,486
185	25450,554	8863,915	1234,995	30562,558	7410,498	1828,172	29367,121	5292,802	1714,485
186	25450,555	8863,913	1234,983	30562,555	7410,501	1828,171	29367,122	5292,801	1714,486
187	25450,556	8863,916	1234,985	30562,552	7410,502	1828,170	29367,124	5292,800	1714,486
188	25450,555	8863,912	1234,978	30562,552	7410,499	1828,170	29367,124	5292,801	1714,487
189	25450,552	8863,913	1234,982	30562,555	7410,501	1828,171	29367,122	5292,801	1714,486
190	25450,556	8863,907	1234,996	30562,553	7410,504	1828,170	29367,123	5292,799	1714,486
191	25450,557	8863,917	1234,984	30562,555	7410,501	1828,170	29367,124	5292,801	1714,487
192	25450,556	8863,916	1234,987	30562,557	7410,500	1828,172	29367,124	5292,801	1714,487
193	25450,556	8863,921	1234,971	30562,554	7410,500	1828,171	29367,121	5292,799	1714,485
194	25450,555	8863,915	1234,994	30562,556	7410,499	1828,170	29367,124	5292,802	1714,487
195	25450,552	8863,927	1234,991	30562,555	7410,499	1828,170	29367,124	5292,801	1714,487
196	25450,558	8863,923	1235,000	30562,556	7410,496	1828,170	29367,123	5292,803	1714,486
197	25450,555	8863,950	1235,009	30562,552	7410,498	1828,169	29367, 121	5292,800	1714,486

<i>Day of Year</i>	<b>Stasiun DELS</b>			<b>Stasiun GRWH</b>			<b>Stasiun KLAT</b>		
	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>U (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>U (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>U (m)</b>
198	25450,637	8863,634	1234,839	30562,555	7410,499	1828,170	29367,122	5292,801	1714,486
199	25450,557	8863,904	1235,020	30562,554	7410,501	1828,170	29367,124	5292,801	1714,486
200	25450,557	8863,914	1234,981	30562,557	7410,501	1828,171	29367,125	5292,802	1714,487
201	25450,556	8863,914	1234,981	30562,557	7410,497	1828,171	29367,124	5292,802	1714,486
202	25450,553	8863,917	1234,985	30562,557	7410,498	1828,171	29367,122	5292,802	1714,486
203	25450,558	8863,914	1235,006	30562,559	7410,501	1828,173	29367,127	5292,800	1714,487
204	25450,561	8863,917	1234,990	30562,555	7410,499	1828,170	29367,124	5292,802	1714,487
205	25450,555	8863,923	1235,017	30562,556	7410,496	1828,170	29367,125	5292,803	1714,487
206	25450,559	8863,962	1235,019	30562,564	7410,502	1828,175	29367,123	5292,801	1714,487
207	25450,557	8863,915	1234,975	30562,556	7410,500	1828,170	29367,124	5292,802	1714,487
208	25450,558	8863,914	1234,970	30562,556	7410,498	1828,170	29367,126	5292,803	1714,487
209	25450,563	8863,966	1234,995	30562,555	7410,499	1828,170	29367,130	5292,803	1714,490
210	25450,557	8863,910	1234,964	30562,555	7410,500	1828,171	29367,121	5292,801	1714,486
211	25450,555	8863,916	1235,006	30562,558	7410,499	1828,172	29367,126	5292,801	1714,488
212	25450,556	8863,931	1235,005	30562,552	7410,496	1828,169	29367,122	5292,801	1714,486

## LAMPIRAN 2

### Koordinat Toposentrik dari Transformasi Matlab Pengolahan Data GPS Perangkat Lunak Topcon Tools 8.2

#### 1. Metode Jaring Tertutup

Day of Year	Stasiun DELS			Stasiun GRWH			Stasiun KLAT		
	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)
182	25450,566	8863,921	1234,910	30562,562	7410,512	1828,094	29367,131	5292,811	1714,404
183	25450,570	8863,921	1234,944	30562,554	7410,518	1828,137	29367,126	5292,816	1714,447
184	25450,568	8863,922	1234,919	30562,563	7410,514	1828,125	29367,130	5292,814	1714,423
185	25450,568	8863,927	1234,943	30562,561	7410,516	1828,152	29367,129	5292,817	1714,452
186	25450,561	8863,924	1234,949	30562,559	7410,512	1828,153	29367,126	5292,815	1714,457
187	25450,568	8863,911	1234,915	30562,559	7410,511	1828,117	29367,130	5292,809	1714,415
188	25450,576	8863,927	1234,880	30562,557	7410,520	1828,062	29367,126	5292,822	1714,365
189	25450,567	8863,926	1234,884	30562,565	7410,519	1828,044	29367,130	5292,819	1714,359
190	25450,573	8863,925	1234,889	30562,560	7410,517	1828,072	29367,131	5292,818	1714,383
191	25450,573	8863,921	1234,907	30562,557	7410,513	1828,098	29367,127	5292,813	1714,400
192	25450,567	8863,921	1234,897	30562,560	7410,509	1828,065	29367,129	5292,815	1714,373
193	25450,580	8863,930	1234,882	30562,561	7410,511	1828,084	29367,135	5292,817	1714,382
194	25450,566	8863,923	1234,874	30562,559	7410,510	1828,086	29367,133	5292,818	1714,382
195	25450,564	8863,916	1234,885	30562,557	7410,510	1828,085	29367,131	5292,813	1714,383

Day of Year	Stasiun DELS			Stasiun GRWH			Stasiun KLAT		
	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)
196	25450,571	8863,925	1234,886	30562,563	7410,510	1828,082	29367,133	5292,815	1714,382
197	25450,559	8863,925	1234,926	30562,561	7410,510	1828,125	29367,129	5292,814	1714,424
198	25450,571	8863,927	1234,883	30562,553	7410,521	1828,122	29367,124	5292,824	1714,407
199	25450,570	8863,921	1234,862	30562,559	7410,513	1828,073	29367,132	5292,816	1714,365
200	25450,573	8863,919	1234,867	30562,560	7410,509	1828,074	29367,133	5292,812	1714,378
201	25450,571	8863,921	1234,863	30562,566	7410,509	1828,055	29367,134	5292,813	1714,363
202	25450,567	8863,920	1234,873	30562,564	7410,509	1828,079	29367,131	5292,810	1714,374
203	25450,567	8863,921	1234,886	30562,567	7410,512	1828,073	29367,131	5292,813	1714,379
204	25450,568	8863,924	1234,876	30562,562	7410,509	1828,067	29367,129	5292,814	1714,366
205	25450,567	8863,922	1234,885	30562,563	7410,510	1828,083	29367,133	5292,813	1714,384
206	25450,561	8863,918	1234,920	30562,564	7410,510	1828,117	29367,130	5292,810	1714,418
207	25450,561	8863,918	1234,912	30562,560	7410,510	1828,112	29367,130	5292,812	1714,414
208	25450,567	8863,915	1234,881	30562,565	7410,506	1828,071	29367,133	5292,811	1714,365
209	25450,573	8863,924	1234,872	30562,560	7410,513	1828,077	29367,134	5292,819	1714,378
210	25450,566	8863,919	1234,868	30562,565	7410,506	1828,066	29367,131	5292,811	1714,363
211	25450,574	8863,919	1234,840	30562,560	7410,515	1828,039	29367,133	5292,815	1714,344
212	25450,566	8863,920	1234,875	30562,560	7410,515	1828,066	29367,127	5292,817	1714,365

## 2. Metode Radial

<i>Day of Year</i>	Stasiun DELS			Stasiun GRWH			Stasiun KLAT		
	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)	N (m)	E (m)	U (m)
182	25450,561	8863,917	1234,937	30562,564	7410,518	1828,115	29367,130	5292,816	1714,412
183	25450,560	8863,912	1234,945	30562,563	7410,523	1828,127	29367,131	5292,814	1714,434
184	25450,564	8863,918	1234,937	30562,564	7410,520	1828,111	29367,131	5292,815	1714,415
185	25450,563	8863,919	1234,947	30562,561	7410,526	1828,145	29367,131	5292,818	1714,455
186	25450,561	8863,921	1234,948	30562,561	7410,517	1828,164	29367,126	5292,818	1714,452
187	25450,562	8863,908	1234,945	30562,562	7410,518	1828,144	29367,132	5292,816	1714,429
188	25450,562	8863,936	1234,898	30562,566	7410,521	1828,069	29367,130	5292,811	1714,366
189	25450,560	8863,915	1234,896	30562,565	7410,523	1828,051	29367,132	5292,814	1714,352
190	25450,562	8863,927	1234,952	30562,558	7410,514	1828,096	29367,130	5292,821	1714,398
191	25450,563	8863,911	1234,924	30562,565	7410,517	1828,099	29367,129	5292,814	1714,400
192	25450,563	8863,916	1234,903	30562,564	7410,521	1828,085	29367,131	5292,809	1714,358
193	25450,555	8863,910	1234,928	30562,563	7410,512	1828,117	29367,133	5292,805	1714,393
194	25450,562	8863,916	1234,881	30562,557	7410,522	1828,099	29367,136	5292,816	1714,372
195	25450,569	8863,918	1234,891	30562,559	7410,516	1828,103	29367,133	5292,804	1714,380
196	25450,567	8863,927	1234,923	30562,561	7410,511	1828,117	29367,133	5292,809	1714,376
197	25450,559	8863,920	1234,923	30562,561	7410,516	1828,131	29367,129	5292,813	1714,423

<i>Day of Year</i>	<b>Stasiun DELS</b>			<b>Stasiun GRWH</b>			<b>Stasiun KLAT</b>		
	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>U (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>U (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>U (m)</b>
198	25450,562	8863,926	1234,901	30562,562	7410,520	1828,114	29367,133	5292,796	1714,404
199	25450,564	8863,913	1234,873	30562,560	7410,515	1828,090	29367,132	5292,809	1714,357
200	25450,564	8863,917	1234,876	30562,565	7410,514	1828,092	29367,135	5292,806	1714,373
201	25450,563	8863,916	1234,879	30562,570	7410,516	1828,060	29367,135	5292,803	1714,359
202	25450,563	8863,918	1234,894	30562,565	7410,513	1828,101	29367,130	5292,802	1714,387
203	25450,566	8863,919	1234,887	30562,566	7410,516	1828,077	29367,133	5292,811	1714,375
204	25450,563	8863,921	1234,887	30562,566	7410,515	1828,059	29367,129	5292,810	1714,370
205	25450,563	8863,917	1234,890	30562,566	7410,516	1828,088	29367,133	5292,810	1714,383
206	25450,561	8863,917	1234,914	30562,565	7410,514	1828,121	29367,130	5292,801	1714,419
207	25450,559	8863,920	1234,904	30562,562	7410,512	1828,140	29367,133	5292,802	1714,406
208	25450,569	8863,913	1234,871	30562,562	7410,513	1828,080	29367,135	5292,792	1714,368
209	25450,560	8863,920	1234,900	30562,563	7410,514	1828,072	29367,137	5292,823	1714,372
210	25450,564	8863,929	1234,902	30562,562	7410,508	1828,093	29367,131	5292,796	1714,375
211	25450,550	8863,901	1234,923	30562,563	7410,516	1828,046	29367,135	5292,809	1714,344
212	25450,568	8863,926	1234,890	30562,561	7410,516	1828,058	29367,128	5292,807	1714,349

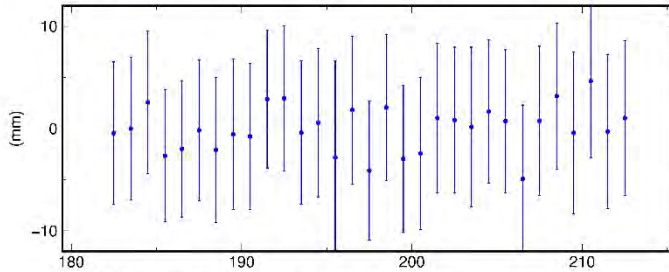
## LAMPIRAN 3

### 1. METODE JARING

#### Time Series Stasiun DELS

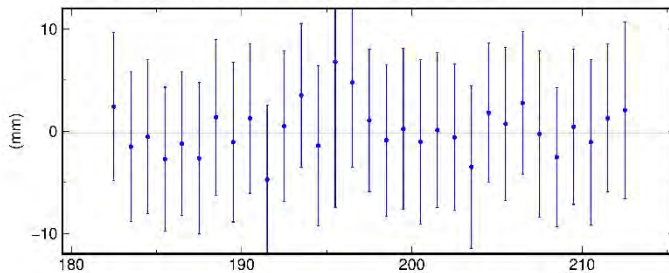
DELS North Offset -842441.162 m

wmean(mm) =  $-1161.24 \pm 1.29$  nrms = 0.31 wrms = 2.2 mm # 31



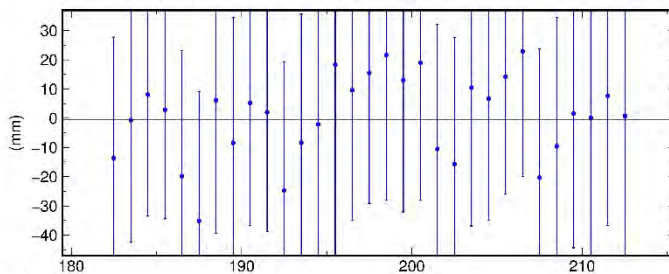
DELS East Offset 12189730.094 m

wmean(mm) =  $91.68 \pm 1.35$  nrms = 0.29 wrms = 2.2 mm # 31



DELS Up Offset 1432.145 m

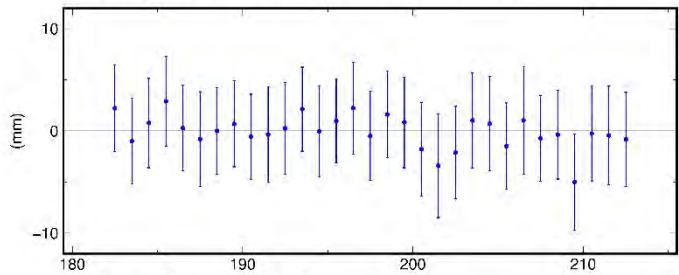
wmean(mm) =  $2158.78 \pm 7.95$  nrms = 0.32 wrms = 14.2 mm # 31



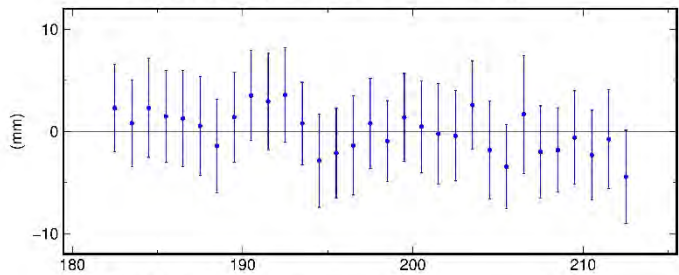


Time Series Stasiun GRWH

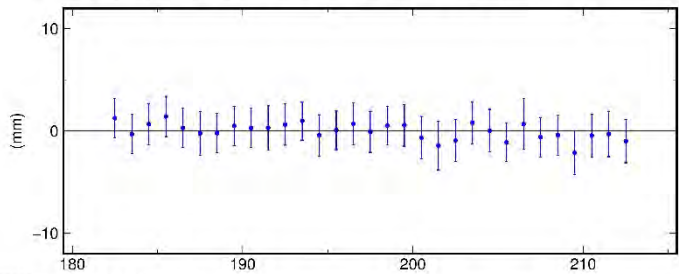
GRWH North Offset -837299.948 m  
wmean(mm)= -9950.27 + 0.80 nrms= 0.36 wrms= 1.6 mm # 31



GRWH East Offset 12189647.818 m  
wmean(mm)= 7815.54 ± 0.81 nrms= 0.46 wrms= 2.1 mm # 31

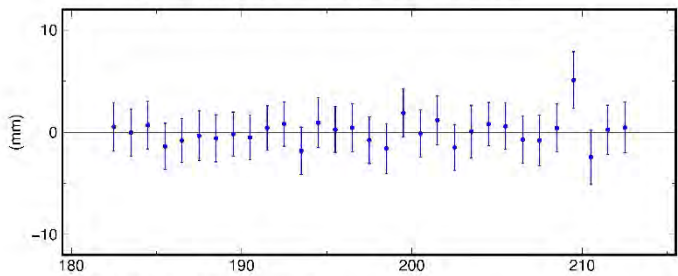


GRWH Up Offset 2046.123 m  
wmean(mm)= 6121.96 ± 0.36 nrms= 0.39 wrms= 0.8 mm # 31

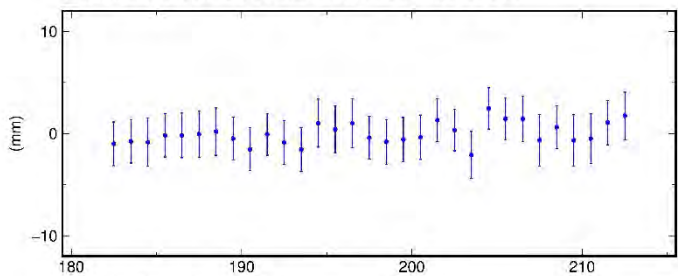


Time Series Stasiun KLAT

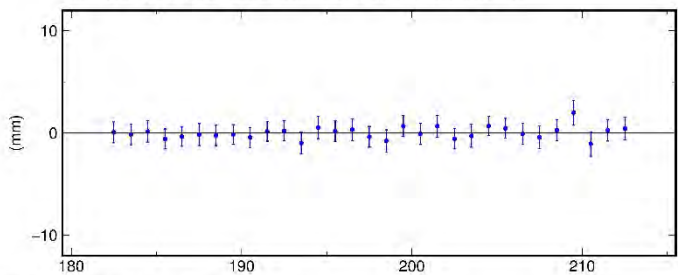
KLAT North Offset -838502.583 m  
wmean(mm)= -2583.05 ± 0.42 nrms= 0.53 wrms= 1.2 mm # 31



KLAT East Offset 12187209.113 m  
wmean(mm)= 9114.01 ± 0.39 nrms= 0.49 wrms= 1.1 mm # 31



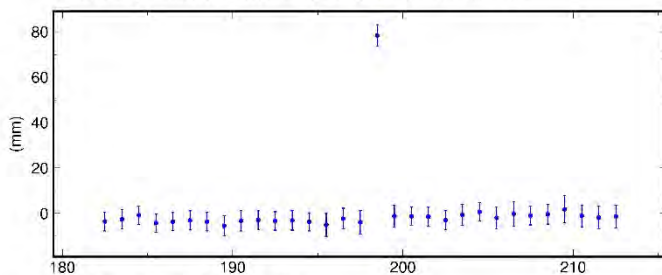
KLAT Up Offset 1924.643 m  
wmean(mm)= 4643.24 ± 0.19 nrms= 0.54 wrms= 0.6 mm # 31



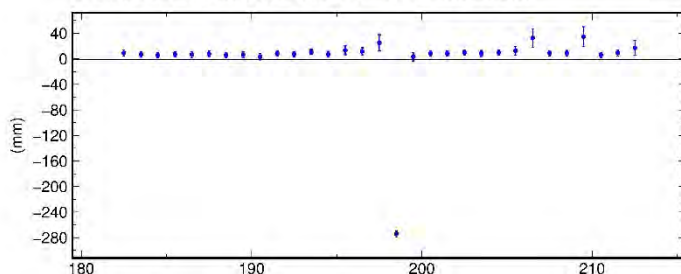
## 2. METODE RADIAL

### Time Series Stasiun DELS

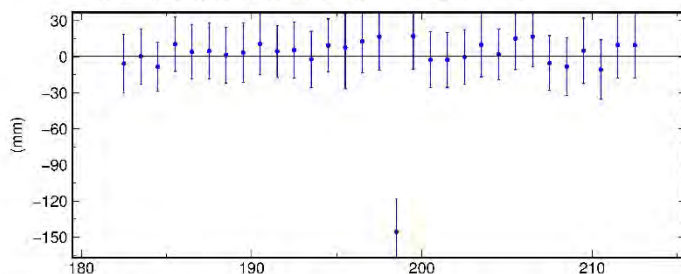
DELS North Offset -842441.162 m  
 $wmean(mm) = -1158.57 \pm 0.80$   $nrms = 3.10$   $wrms = 13.7$  mm # 31



DELS East Offset 12189730.091 m  
 $wmean(mm) = 83.13 \pm 0.85$   $nrms = 10.22$   $wrms = 48.6$  mm # 31



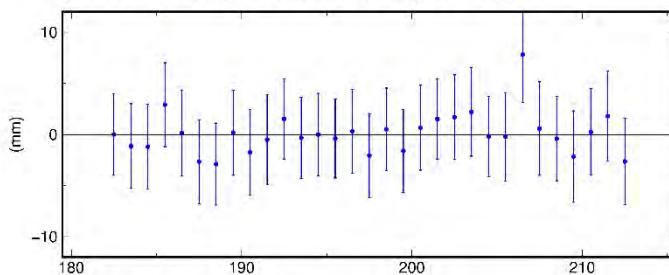
DELS Up Offset 1432.165 m  
 $wmean(mm) = 2169.85 \pm 4.35$   $nrms = 1.01$   $wrms = 24.6$  mm # 31



## Time Series Stasiun GRWH

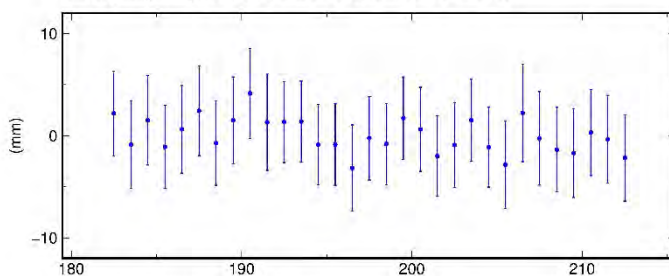
GRWH North Offset -837299.950 m

wmean(mm) =  $-9949.75 \pm 0.75$  nrms = 0.47 wrms = 2.0 mm # 31



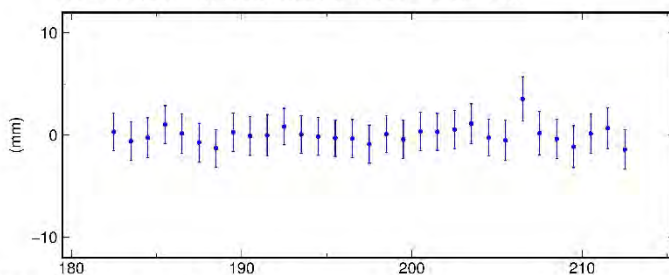
GRWH East Offset 12189647.801 m

wmean(mm) =  $7798.76 \pm 0.75$  nrms = 0.40 wrms = 1.7 mm # 31

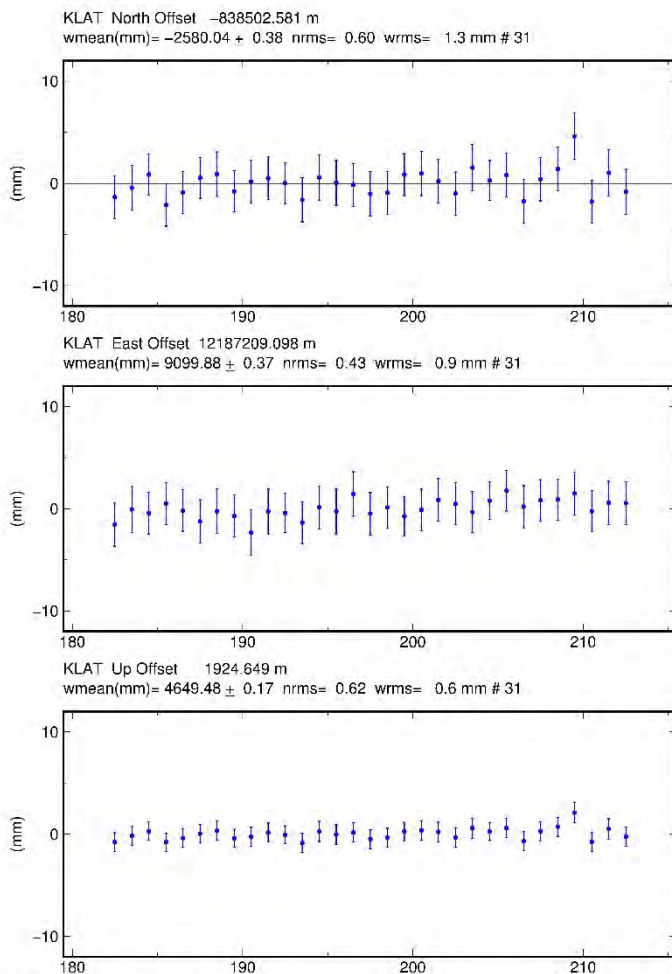


GRWH Up Offset 2046.092 m

wmean(mm) =  $6091.76 \pm 0.34$  nrms = 0.45 wrms = 0.8 mm # 31



## Time Series Stasiun KLAT



## LAMPIRAN 4

### Control Files GAMIT/GLOBK

*Lfile*

```

BPTK BPTK GPS      S 7 44 46.66169 E110 23 3.78701
6377886.5032 Ref. Epoch 2015.4983 BPTK_GPS

DELS DELS GPS      S07 31 03.75152 E110 27 52.87973
6379201.2975 Updated from 120155.182

GRWH GRWH GPS      S07 28 18.57996 E110 27 05.42623
6379819.7090 Updated from 120155.182

KLAT KLAT GPS      S07 28 57.21760 E110 25 56.38146
6379697.1947 Updated from 120155.182

```

### *Station.info*

```

# Station.info written by MSTINF user andriarie      on
2016-03-18 16:26

* Refrence file : station.info

*SITE  Station Name      Session Start      Session Stop
Ant Ht  HtCod Ant N      Ant E      Receiver Type      Vers
SwVer  Receiver SN      Antenna Type      Dome      Antenna
SN

  BPTK  BPTK              2015 182 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
2.62/6.112      0.00 1700158      LEIAR10
NONE              mstinf: bptk1820.15o?

  DELS  DELS              2015 182 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
2.62/6.112      0.00 1700057      LEIAR10
NONE 13194044      mstinf: dels1820.15o?

  GRWH  GRWH              2015 182 0 0 0 2015 212 23 59
59 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR10
1.00/4.005      0.00 1700145      LEIAR10
NONE 13194044      mstinf: grwh1820.15o?

```

KLAT	KLAT		2015	182	0	0	0	2015	212	23	59
59	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	LEICA	GR10					
3.03/6.214			0.00	1703202			LEIAR10				
NONE	13110041				mstinf:	klat1820.15o?					

### *Sites.default*

```
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the
following to list sites needed from external archive

all_sites 2015  xstinfo

bptk_gps 2015 localrx xstinfo

dels_gps 2015 localrx xstinfo

grwh_gps 2015 localrx xstinfo

klat_gps 2015 localrx xstinfo

# templates for removing sites

ttth_gps  expt xsite:1999_256-1999_278 glreps
xsite:1999_300-1999_365
```

### *sestbl.*

```
Session Table

Processing Agency = MIT
Choice of Experiment = BASELINE      ; BASELINE/RELAX./ORBIT
Type of Analysis = 1-ITER            ; 1-ITER(autcln prefit and
conditional redo) / 0-ITER (no postfit autcln) / PREFIT
AUTCLN redo = Y                      ; Y/N; 3rd soln only if
needed, assume 'Y' if 'Type of analysis = 1-ITER'
Choice of Observable = LC_AUTCLN     ; LC_AUTCLN (default),
LC_HELP (codeless L2), L1_ONLY (L1 soln from dual freq),
L2_ONLY (L2 soln from
dual freq), L1,L2_INDEPENDENT (L1 + L2 from dual freq)
L1&L2 (same as
L1,L2_INDEPENDENT but with ion constraint);
L1_RECEIVER (must add
'Llonly' in autcln.cmd)
Use otl.grid = Y                     ; Ocean tidal loading grid
file, GAMIT-format converted from OSO
Etide model = IERS03                 ; IERS96/IERS03
```

```

Earth Rotation = 11                ; Diurnal/Semidirunal
terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 4=Ray model; 8=IERS2010
16=include libration terms; default=11
Apply atm loading = N              ; Y/N for atmospheric
loading
Use atml.list = N                  ; Atmospheric (non-tidal)
loading list file from LU
Use atml.grid = Y                  ; Atmospheric (non-tidal)
loading grid file from LU, converted to GAMIT format

```

### *Sistbl.*

```

SITE                FIX      --COORD.CONSTR.--

    << default for regional stations >>

ALL                 NNN      100.  100.  100.

    << IGS core stations >>

BPTK BPTK_GPS       NNN      0.001 0.001  0.01

```

### *Process.Defaults*

```

# process.defaults
#
# Do not remove any of these entries. To by-pass a
function, set the value to null: ""
##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time
for processing
  set sint = '30'
  set nepc = '2880'
  set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
  set stinf_unique = "-u"
  set stinf_nosort = "-nosort"
  set stinf_slthgt = "2.00"
# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or
apr file
  set use_rxc      = "N"
# Broadcast orbits
  set brdc = 'brdc'

```



```

# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most
OS use 1 Kb blocks)
set minxf = '300'
# Set search window for RINEX files which might contain data
for day - default check the previous day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk .apr file
set aprf = itr08_comb.apr
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts)
options. (Don't forget to set the archivepth.)
# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d,
e, g, h, i, j, k, l, m, o, p, q, t, x, ps, all"
set dopts = ( c )
set copts = ( x k ao )
set aopts = ''
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would
like to look for data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rinex_ftpsites = (sopac cddis unavco)

```

*Globk\_comb.cmd*

```

* GLOBK command file to generate daily time series and to
combine
* h-files over 2 to 30 days.

* For combination, set COMB as a globk command-line option
to
* invoke the saving of the output h-file

* Last edited by rwk 130701

* << column 1 must be blank if not comment >>

* This group of commands must appear before any others:
srt_file @.srt
srt_dir +1
eq_file ~/gg/tables/itrf08_comb.eq
# Optionally add a second eq_file for analysis-specific
renames
* End commands that must appear first

* ITRF2008 augmented by now-defunct sites and recent IGS
solutions;
# matched to itrf08_comb.eq
apr_file ../tables/lfile.itrf08.apr
# Optionally add additional apr files for other sites
x ../tables/apr_file regional.apr

* Set maximum chi2, prefit coordinate difference (m), and
rotation (mas) for an h-file to be used;
max_chi1 13 3 100
# increase tolerances to include all files for diagnostics
x max_chi 100 5.0 20000

# Not necessary unless combining h-files with different a
priori EOP
in_pmu ../tables/pmu.usno

* Invoke glorg
org_cmd glorg_comb.cmd

* Print file options
crt_opt NOPR
prt_opt NOPR GDLF CMDS MIDP BLEN UTM
org_opt PSUM CMDS GDLF MIDP FIXA RNRP BLEN UTM
# sh_glred will name the glorg print files
x org_out globk_comb.org

```

```

* Coordinate parameters to be estimated and a priori
constraints
apr_neu all 10 10 10 0 0 0

* Rotation parameters to be estimated and a priori
constraints
apr_wob 10 10 0 0
apr_utl 10 0
# If combining with global h-files, allow EOPS to change
# between days
x mar_wob 3650 3650 365 365
x mar_utl 365 365
# EOP tight if translation-only stabilization in glorg
x apr_wob .25 .25 .1 .1
x apr utl .25 .1

* Write out a combined H-file
# Can substitute your analysis name for 'COMB' in the file
name below
COMB out_glb H-----_COMB.GLX

* Optionally put a uselist and/or sig_neu and mar_neu
reweight in a source file
x source ../tables/uselist
x source ../tables/daily_reweights

* Turn off quake log estimates if in the eq_file
free_log -1

* Remove scratch files for repeatability runs
del_scra yes

* Correct the pole tide when not compatible with GAMIT
app_ptid all
* If orbits free in GAMIT (RELAX) and you want them fixed,
use:
x apr_svs all F F F F F F FR
* but if you are combining with globk h-files, better to
leave them
* on but, if the models are incompatible, turn off
radiation-pressure parameters,
x apr_svs all 100 100 100 10 10 10 OR

* When using MIT GLX files which have satellite phase center
positions
* estimated use:
apr_svan all F F F ! Fix antenna offset to IGS
apriori values.

```

*Glorg\_comb.cmd*

```

* Glorg command file for daily repeatabilities or
combinations

* Last edited by rwk 130701

* Parameters to be estimated
pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
# or if translation-only
x pos_org xtran ytran ztran

* Downweight of height relative to horizontal (default is
10)
# Heavy downweight if reference frame robust and heights
suspect
x cnd_hgt 1000

* Controls for removing sites from the stabilization
# Vary these to make the stabilization more robust or more
precise
stab_it 4 0.8 3.0
x stab_it 4 0.5 4.0

* A priori coordinates
# ITRF2008 may be replaced by an apr file from a priori
velocity solution
apr_file ../tables/lfile.itrf08.apr
x apr_file ../../tables/regional.apr

* List of stabilization sites
# This should match the well-determined sites in the
apr_file
stab_site clear
stab_site bptk dels grwh klat
x source ../../tables/regional_stab_site

```

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Malang, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 26 Desember 1993. Penulis merupakan anak terakhir dari 4 bersaudara. Pendidikan dasar sampai menengah ditempuh dan diselesaikan penulis di Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur, yaitu SD Islam Almaarif 02 Singosari (1999-2006), SMPN 1 Singosari (2006-2009) dan SMAN 1 Lawang (2009-2012). Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 di Jurusan Teknik Geomatika ITS dan terdaftar dengan Nomor Registrasi Peserta (NRP) 3512100039 melalui jalur SBMPTN. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif di unit kegiatan mahasiswa (UKM) Laras Wara Lokananta Tari & Karawitan ITS bagian divisi Karawitan. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis adalah ESQ, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HIMAGE ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar FTSP-ITS. Penulis melaksanakan kerja praktik di BPPTKG Yogyakarta. Dalam menyelesaikan studi kuliah S-1 penulis memilih bidang keahlian Geomatika yaitu geodesi dan surveying dengan mengambil judul “Analisa Perbandingan Pengolahan Data Stasiun GPS CORS Gunung Merapi Menggunakan Perangkat Lunak Ilmiah dan Komersil”.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*